



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

ESTUDIO MESO-CLIMÁTICO DEL NUEVO *TERROIR* VITÍCOLA ATLÁNTICA DE URUGUAY

**Evaluación en *Vitis vinifera* L. cv. Tannat y
Albariño**

Ramiro TACHINI DINI

Magister en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Vegetales

Noviembre 2021

Tesis aprobada por el tribunal integrado por PhD. Valérie Bonnardot y Dr. Martín Fanzone, el 10 de noviembre de 2021. Autor/a: Ing. Agr. Ramiro Tachini. Director/a Dra. Mercedes Fourment, Co-director/a Dra. Milka Ferrer.

Dedico este trabajo a mi familia, amigos y seres queridos que siempre estuvieron
brindando ese apoyo incondicional de todas las horas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Facultad de Agronomía, al CRS (Centro Regional Sur) y en especial a la Dra. Mercedes Fourment y la Dra. Milka Ferrer por brindarme esta oportunidad de conocer el magnífico mundo de la uva y el vino.

Agradezco a esos colegas de incansables horas de trabajo, ruta y mate, sea madrugada, noche, día, calor, frío y/o lluvia. En especial a Manuel Maquiavelo, Fabiana Hernández y Mauricio Cazzola.

Agradezco a CAP (Comisión Académica de Posgrado), ANII (Agencia Nacional de Investigación e Innovación) y CSIC (Comisión Sectorial de Investigación Científica) por el apoyo económico brindado para la realización del proyecto y la maestría.

Agradezco a Bodega Garzón por el apoyo brindado tanto económico, logístico como de dedicación para la realización del proyecto y la maestría. En especial a los Ing. Agr. Eduardo Félix y Juan de Mori.

Agradezco a INTA Mendoza, Unidad de Postcosecha, Facultad de Ciencias y Facultad de Química que colaboraron en mi formación de posgrado.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
<u>1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</u>	<u>1</u>
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	1
1.2 LA PRODUCCIÓN DE VINOS EN EL URUGUAY.....	2
1.3 LA VID Y SU RESPUESTA AL CLIMA.....	5
1.4 MARCO DE ESTUDIO Y ENFOQUE METODOLÓGICO	6
1.5 PRESENTACIÓN DE LOS CAPÍTULOS	8
<u>2. CLIMATE CHARACTERIZATION OF THE ATLANTIC WINE-GROWING ZONE OF URUGUAY</u>	<u>9</u>
2.1 RESUMEN.....	9
2.2 SUMMARY	10
2.3 INTRODUCTION	11
2.4 MATERIALS AND METHODS	15
<u>2.4.1 Comparative climatic analysis between the southern region and the Atlantic region.....</u>	<u>15</u>
<u>2.4.2 Mesoclimatic analysis of the Atlantic region.....</u>	<u>16</u>
<u>2.4.3 Statistical analysis</u>	<u>17</u>
2.5 RESULTS	19
<u>2.5.1 Comparative climatic analysis between the southern region and the Atlantic region.....</u>	<u>19</u>
<u>2.5.2 Meso-climatic analysis of the Atlantic area</u>	<u>22</u>
2.5.2.1 Topographic analysis	22
2.5.2.2 Temporal variability of the meso-climate	233
2.5.2.3 Spatial variability of mesoclimate.....	26
2.6 DISCUSSION	33
<u>2.6.1 Comparative climatic analysis between the southern region and the Atlantic zone of Uruguay.....</u>	<u>33</u>
<u>2.6.2 Spatial and temporal variability of temperature at the meso-scale</u>	<u>34</u>

2.7 BIBLIOGRAPHY	38
<u>3. CARACTERIZACION DE CV TANNAT Y CV ALBARIÑO EN LA REGIÓN ATLÁNTICA DEL URUGUAY</u>	<u>45</u>
3.1 RESUMEN.....	45
3.2 SUMMARY	46
3.3 INTRODUCCIÓN	47
<u>3.3.1 Interacción del clima y con la vid</u>	<u>47</u>
<u>3.3.2 El cultivo de cv. Tannat</u>	<u>50</u>
<u>3.3.3 El cultivo de cv. Albariño</u>	<u>52</u>
<u>3.3.4 Objetivo del capítulo.....</u>	<u>53</u>
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	53
<u>3.4.1 Sitio de estudio.....</u>	<u>53</u>
<u>3.4.2 Mediciones en la planta.....</u>	<u>55</u>
<u>3.4.3 Evaluación de la composición de la uva</u>	<u>57</u>
<u>3.4.4 Análisis estadístico.....</u>	<u>58</u>
3.5 RESULTADOS: EVALUACIÓN DE TANNAT.....	59
<u>3.5.1 Respuesta fenológica y estatus hídrico de la planta</u>	<u>59</u>
3.5.1.1 Evolución fenológica	59
3.5.1.2 Estatus hídrico	61
<u>3.5.2 Componentes del rendimiento.....</u>	<u>62</u>
3.5.2.1 Fertilidad de yemas	63
3.5.2.2 Producción de uva, características del racimo y de la baya	65
<u>3.5.3 Desarrollo foliar, peso de poda e indicadores de equilibrio de la planta ..</u>	<u>69</u>
<u>3.5.4 Metabolitos primarios y secundarios de uva</u>	<u>71</u>
3.5.4.1 Variabilidad temporal.....	71
3.5.4.2 Variabilidad espacial e interacción con variabilidad temporal	76
<u>3.5.5 Análisis multivariado de la respuesta de la planta al clima</u>	<u>85</u>
3.6 RESULTADOS: EVALUACIÓN EN ALBARIÑO	87
<u>3.6.1 Respuesta fenológica y estatus hídrico de la planta</u>	<u>87</u>
3.6.1.1 Evolución fenológica	88
3.6.1.2 Estatus hídrico	89
<u>3.6.2 Componentes del rendimiento: fertilidad de yemas, producción y composición de racimo y baya.....</u>	<u>90</u>

3.6.2.1 Fertilidad de yemas	90
3.6.2.2 Producción de uva, características del racimo y de la baya	92
<u>3.6.3 Desarrollo foliar, peso de poda e indicadores de equilibrio de la planta ..</u>	<u>96</u>
<u>3.6.4 Metabolitos primarios y secundarios de uva</u>	<u>98</u>
3.6.4.1 Variabilidad temporal.....	98
3.6.4.2 Variabilidad espacial e interacción con la variabilidad temporal	101
<u>3.6.5 Análisis multivariado de la respuesta de la planta al clima</u>	<u>108</u>
3.7 DISCUSIÓN: CV. TANNAT	109
3.7.1 Desarrollo fenológico, foliar y estatus hídrico.....	109
3.7.2 Componentes del rendimiento y equilibrio fisiológico.....	111
3.7.3 Composición primaria y secundaria de la baya.....	114
3.8 DISCUSIÓN: CV ALBARIÑO	119
3.8.1 Desarrollo fenológico, foliar y estatus hídrico	119
3.8.2 Componentes del rendimiento y equilibrio fisiológico.....	121
3.8.3 Composición primaria y secundaria de la baya.....	124
3.9 BIBLIOGRAFÍA	126
<u>4. CONCLUSIONES</u>	<u>137</u>
<u>5. BIBLIOGRAFÍA GENERAL</u>	<u>140</u>

RESUMEN

El clima es uno de los componentes que define el *Terroir*, por lo que es necesario conocerlo y describirlo como elemento que se asocie a la tipicidad de un producto, a su calidad y sostenibilidad a lo largo de los años. A su vez, la integrante térmica reviste particular relevancia, en tanto se relaciona estrechamente con el desarrollo y crecimiento de la vid y la composición de la uva. La temperatura a meso escala puede variar en función a la topografía o la cercanía de masas de agua. El objetivo del trabajo es evaluar la región atlántica del Uruguay, a nivel meso climático y determinar el efecto de la topografía sobre la temperatura y la respuesta en la vid en dos cultivares (Tannat y Albariño). Para ello, se instaló una red de 19 sensores de temperatura, colocados en parcelas de Albariño y Tannat, en situaciones topográficas contrastantes. Se calcularon bioindicadores adaptados al cultivo de la vid y se establecieron relaciones entre la topografía del lugar y la respuesta de la planta. La región atlántica fue más fresca que la región Sur (Canelones). Dentro de la región Atlántica, se observó una variabilidad climática temporal asociado a las precipitaciones y una variabilidad espacial asociada a la topografía. La altitud fue el principal elemento que diferenció las parcelas, donde condicionó la amplitud térmica, el índice de frescor nocturno, el número de días sobre 30 °C y la temperatura máxima del verano. La diferencia entre parcelas con altitudes opuestas alcanzó 1,7 °C promedio más a favor de las zonas bajas (verano de 2019-20) y la principal razón fue la exposición a los vientos marítimos. Se registraron diferencias temporales (años) y espaciales (parcelas) en la respuesta de la planta para los dos cultivares estudiados. En Tannat, las zonas altas favorecieron la acidez y las zonas bajas mostraron mayores cantidades de metabolitos secundarios e inflorescencias por planta. En Albariño, las parcelas en zonas altas obtuvieron mayor acidez y las bajas mayores IPT e inflorescencias por planta. Al caracterizar la región con respecto a su clima y como responde en la vid, se genera información aplicada a los sistemas de producción vitícolas, que permitirá tomar decisiones agronómicas dirigidas a potencial la tipicidad que imprime el *terroir* y obtener productos diferenciados y sostenibles a lo largo de los años.

Palabras clave: temperatura, calidad de uva, topografía, Tannat, Albariño

SUMMARY

MESO-CLIMATIC STUDY OF THE NEW ATLANTIC VITICULTURAL TERROIR OF URUGUAY: Evaluation in *Vitis vinifera* L. cv. Tannat and Albariño

The study of climate is relevant as an element associated with the typicity of a product, its quality and sustainability over the years. Grapevine growing berry ripening are closely related to temperature. Its climate component varies at mesoscale according to topography or proximity to large bodies of water. The objective of this work is to evaluate the Atlantic region of Uruguay at the mesoclimatic level and to determine the effect of topography on temperature and grapevine response in two cultivars (Tannat and Albariño). For this purpose, a network of 19 temperature sensors was installed in plots of Albariño and Tannat, in contrasting topographic situations. Bioindicators adapted to grapevine cultivation were calculated and relationships between site topography and plant response were established. The Atlantic region was cooler than the southern region (Canelones). Within the Atlantic region, temporal climatic variability associated with rainfall and spatial variability associated with topography were observed. Altitude was the main element that differentiated the plots, where it conditioned the thermal amplitude, the nocturnal coolness index, the number of days above 30 °C and the maximum summer temperature. The difference between plots with extreme altitudes reached 1.7 °C average, where the highest plots were the coolest (summer 2019-20). The main reason for this is the exposure to sea winds. Temporal (years) and spatial (plots) differences in plant response were recorded for the two cultivars studied. In Tannat, sites at higher elevations favored acidity and lower elevations showed higher amounts of secondary metabolites and inflorescences per plant, due to differences in meso-climate behavior. In Albariño, plots in high zones obtained higher acidity and low zones higher IPT and inflorescences per plant attributed to meso-climatic temperature differences. Local climate characterization of the region provides information applied to viticultural production systems. It allows to guide agronomic decision-making in order to obtain differentiated and sustainable products over the years.

Key words: temperature, grape quality, topography, Tannat, Albariño.

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Por mucho tiempo, el interés de la humanidad se ha centrado en adaptar los cultivos a los diferentes ambientes donde se requiera producir. *Vitis vinífera* L. responde a las condiciones ambientales que le proporciona el sitio de producción (Deloire et al., 2005), repercutiendo en la producción y en la calidad de la uva (Blancquaert et al. 2019, Conde et al. 2007, Jackson y Lombard 1993). De esta manera, la viticultura en el viejo mundo (Europa), ha sentado el antecedente de diferenciar sitios o *terroir*, los cuales han sido analizados minuciosamente en busca de potenciar la calidad y adaptabilidad de los viñedos al ambiente (Elaydi y McLaughlin, 2012). El concepto de *terroir* evoca características biológicas, geográficas, climáticas y socio-productivas del sitio de producción en relación con el material vegetal (Van Leeuwen y Seguin 2006). La viticultura en el nuevo mundo (América y países productores del hemisferio sur), se encuentra recorriendo un camino similar, que le permita comprender sus *terroir* para desarrollar una producción diferenciada (tipicidad) y de calidad, que le confiera atributos para competir en el mercado global. De esta manera, al conocer en detalles los ambientes en los cuales se desarrolla el cultivo de la vid, se pueden plantear estrategias que permitan maximizar la tipicidad del *terroir*.

En Uruguay, el cultivo de la vid se ha desarrollado prioritariamente en la zona costera del Río de la Plata (Departamentos de Montevideo y Canelones), gracias a la instalación de inmigrantes europeos que llegaron al país entre los siglos XIX y XX. Esta región, en interacción con el cultivo de la vid, ha sido ampliamente estudiada por diferentes autores (Ferrer et al. 2020, Ferrer et al. 2018, Fourment et al. 2017, González-Neves et al. 2004). En la última década, en búsqueda de nuevos *terroirs* que otorguen cualidades específicas a los vinos, la zona este del Uruguay (Departamento de Maldonado) ha emergido como un sitio prometedor para la producción de vinos de calidad, principalmente gracias al efecto moderador térmico del océano Atlántico. La zona oceánica es caracterizada como la región más fresca del país durante el periodo estival (INIA-GRAS 2020, Ferrer et al. 2007), siendo relevante para el desarrollo de

la viticultura nacional en un contexto de cambio climático y aumento de la temperatura global (Schultz y Jones, 2010).

La hipótesis general del trabajo es que el Océano Atlántico tiene un impacto en el meso-clima de los viñedos del este del país, el cual repercute en la fisiología de la vid y los compuestos de la uva. El objetivo general es estudiar en profundidad el clima atlántico de Uruguay a macro y meso-escala y su interacción con la producción de uva para la obtención de vinos de dos variedades de importancia nacional: Tannat (variedad tinta) y Albariño (variedad blanca).

A partir del objetivo general se enumeran los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar la región atlántica en base a información climática, a partir de estaciones meteorológicas.
- Describir el comportamiento térmico a meso-escala de un viñedo en la zona atlántica a través de una red de sensores de temperatura.
- Evaluar el fenómeno de la brisa marina y la influencia del Océano Atlántico a escala fina a través del impacto térmico en las plantas de vid.
- Desarrollar mapas con las características predominantes de la zona de estudio (altitud, exposición, pendiente) que ayude a entender el comportamiento de la variabilidad climática espacial en una región vitivinícola.
- Describir el desempeño fisiológico y metabólico de una variedad tinta, Tannat y una blanca, Albariño, en la región de estudio.
- Determinar los posibles impactos del clima en la fisiología y el desarrollo de la vid para la variedad tinta y la variedad blanca.
- Determinar los posibles impactos del clima en los metabolitos primarios y secundarios de la uva para la variedad tinta y la variedad blanca.

1.2 LA PRODUCCIÓN DE VINOS EN EL URUGUAY

En Uruguay, la producción de vinos es exclusivamente en base a la especie *Vitis vinífera* L. por normativa nacional del INAVI (Instituto Nacional de Vitivinicultura) (INAVI, 2020). Del total de 6.144 ha plantadas, 77,9% se concentra en el área centro sur del Uruguay (Montevideo-Canelones) (figura 1). No obstante, en los últimos años

Map of the Iberian Peninsula showing the distribution of olive groves by region. The map uses a color scale from light yellow (0 ha) to dark red (4051 ha) to represent the number of hectares of olive groves. The regions are labeled with their respective values: 13 ha, 58 ha, 28 ha, 11 ha, 0 ha, 19 ha, 0 ha, 4 ha, 0 ha, 17 ha, 8 ha, 19 ha, 366 ha, 297 ha, 4051 ha, 736 ha, 395 ha. The map includes a north arrow and a scale bar (0 to 200 km). The Atlantic Ocean is labeled 'Oceano Atlântico'.

El desarrollo de la nueva región se asoció al establecimiento de explotaciones dedicadas a la elaboración de vinos de calidad, los cuales destacan la importancia del océano como un factor diferenciador de sus uvas, gracias a la presencia de la brisa marina. Sumado a la cercanía del Océano Atlántico, el tipo de suelo se diferencia a la zona tradicional sur del país. Sobre la serranía atlántica, los suelos son mayoritariamente superficiales con aumento de rocosidad y pedregosidad. Por otra parte, se destacan por un mayor nivel de pendiente y altitud, generando colinas y pequeños valles a lo largo del paisaje (Silva et al., 2018). Por último, el desarrollo

vitivinícola de la zona se ve influenciado fuertemente por el enoturismo, gracias a la cercanía del principal centro turístico de Uruguay, Punta del Este.

Con respecto a las variedades, el 76% del total del país, corresponde a variedades tintas y 24% a variedades blancas. La variedad tinta más plantada es Tannat con 1.632 ha, siendo un 27,3 % del total nacional (INAVI, 2019b). La misma, originaria de los Pirineos Atlánticos, fue introducida en el siglo XIX y actualmente es considerada el *cépage* insignia del país, por su buena respuesta al ambiente nacional (Ferrer et al., 2007). La misma, aporta vinos con gran tipicidad, gracias a su potencial enológico dado por el alto nivel de antocianos, taninos y acidez (González-Neves et al., 2010).

En cuanto a las variedades blancas, la más plantada es Ugni Blanc con 646 ha (INAVI, 2019b). No obstante, el cultivo de la variedad Albariño está en aumento (+157% ha en los últimos 10 años) debido a que las condiciones nacionales le ofrecen, tal como requiere, ambientes frescos y húmedos como los que se encuentran en su lugar de origen: Galicia, España. En esa región, los vinos de Albariño, presentan una alta intensidad aromática correspondiente a descriptores frutales y florales (Diéguez et al., 2003), un grado alcohólico oscilante entre los 12 y 13° y una acidez que ronda los 7 g de ácido tartárico/l (Boso et al., 2008).

A nivel mundial ha aumentado el porcentaje de uva destinado para la elaboración de vinos de calidad. El patrón corresponde a una coyuntura global, donde el consumo *per cápita* diario se ha visto mermado en beneficio del consumo de vinos de calidad y de manera esporádica (OIV, 2020). Las bodegas, se han visto en la necesidad de adaptar sus productos para satisfacer la nueva demanda. Esto ha llevado a explorar nuevos sitios que le confieran al vino cualidades específicas de calidad (tipicidad) (Elaydi y McLaughlin 2012, Van Leeuwen y Seguin 2006). De esta manera, el *terroir* Atlántico del Uruguay surge como una zona prometedora para la obtención de vinos diferenciados. Por último, para Uruguay el acceso al merco internacional del vino está en aumento, apoyado por políticas públicas que promocionan a los vinos uruguayos como “*vinos atlánticos*”, generando la diferenciación de producto al momento de competir en el mercado regional y mundial (Uruguay XXI, 2020, Uruguay Natural, 2020)

1.3 LA VID Y SU RESPUESTA AL CLIMA

La planta de vid responde a las condiciones climáticas que le proporciona el sitio donde se establece el cultivo. Dentro de las mismas, la temperatura es uno de los principales elementos que determina el crecimiento y desarrollo de las plantas y la composición de la uva (Sweetman et al. 2014, Keller 2010, Mori et al. 2005, Bergqvist et al. 2001, Jackson y Lombard 1993).

A nivel global las diferencias climáticas pueden ser obtenidas variando la latitud donde se encuentra el cultivo (Barry y Chorley, 2010). Sin embargo, a una misma latitud, dentro de una región a meso-escala, la temperatura puede ser influenciada por la topografía (pendiente, altitud, exposición) así como la cercanía a grandes masas de agua (Fourment et al. 2017, Bonnefoy et al. 2013, Bonnardot et al. 2002).

A nivel internacional son varios los trabajos que se enfocan en el estudio del *terroir* sobre la componente térmica del ambiente (Quénol y Bonnardot 2014, Matese et al. 2014, Hall y Jones 2010, Jones et al. 2010, Blanco-Ward et al. 2007, Deloire et al. 2005, Bonnardot et al. 2002). A nivel nacional, se ha estudiado la influencia del ambiente de las zonas tradicionales sobre la variedad Tannat, mostrando una gran sensibilidad a la variabilidad climática (Ferrer et al. 2020, Ferrer et al. 2018, Fourment et al. 2017).

Así mismo, a nivel global, varios autores se han centrado en grandes masas de agua (océanos o ríos), como factores preponderantes en la tipificación y diferenciación de vinos a meso-escala (Fourment et al. 2017, Bonnardot et al. 2012, Bois et al. 2008, Carey et al. 2008).

El estudio del comportamiento y desarrollo de las variedades Tannat y Albariño en la zona atlántica, ofrecerá información valiosa para enfocar prácticas de manejo sustentables que permitan lograr productos diferenciados y de calidad en un contexto de calentamiento global y cambio climático.

1.4 MARCO DE ESTUDIO Y ENFOQUE METODOLÓGICO

El trabajo se abordó a través de dos líneas de estudio: 1) estudio del clima a meso-escala y cómo varía espacial y temporalmente y 2) descripción del comportamiento varietal de las parcelas seleccionadas, cómo varía espacial y temporalmente, en función a las condiciones que le impone el meso-clima (figura 3).

El enfoque metodológico se centró en un estudio descriptivo del meso-clima por medio de una red de sensores de temperatura (Tiny Tag Data Loggers®) instalados en las parcelas de vid. El análisis climático se complementa con tres estaciones meteorológicas dispuestas en la zona atlántica y una en la costa rioplatense a modo de comparación. Se realizaron simultáneamente mediciones agronómicas en la planta y la composición química y física en las bayas de las parcelas seleccionadas. El sitio seleccionado fue un viñedo comercial ubicado en paraje pueblo Garzón al este de Uruguay sobre las coordenadas 34,57 S y 54,6 O y a una distancia de 20 kilómetros del Océano Atlántico (figura 2).

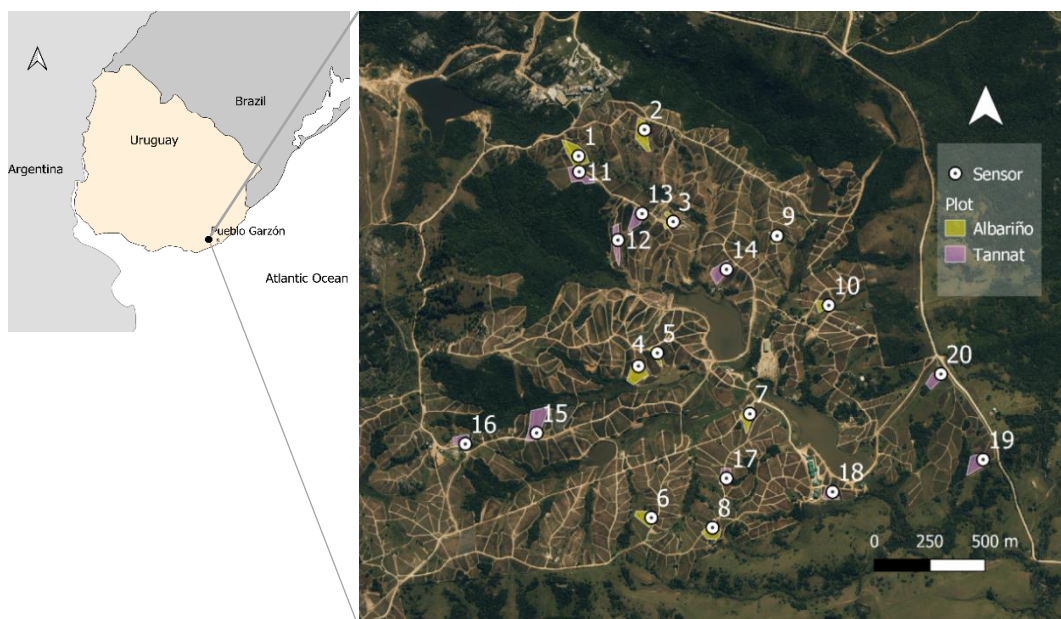


Figura 2. Ubicación geográfica de Pueblo Garzón y vista aérea del viñedo bajo estudio. En violeta parcelas seleccionadas de cv. Tannat y en amarillo parcelas de cv. albariño.

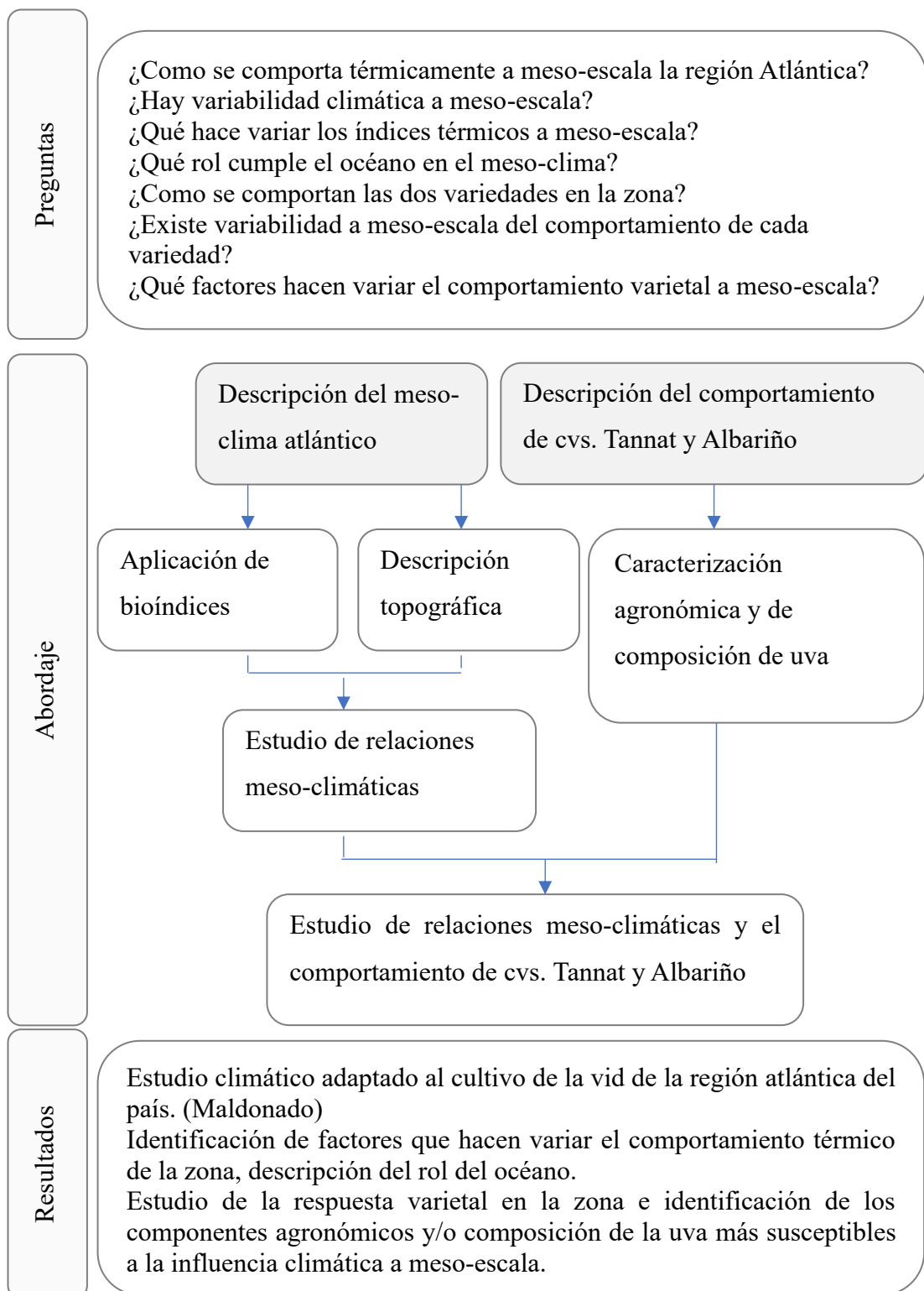


Figura 3. Diagrama conceptual de los cuestionamientos, forma de abordaje del problema y resultados esperados.

1.5 PRESENTACIÓN DE LOS CAPÍTULOS

La tesis se divide en dos capítulos, que representan dos artículos. El primero es candidato a ser presentado en la revista científica “Applied Geography”. El segundo, no presenta una revista definida a ser presentado al momento, ya que será definido en la posteridad en conjunto con los directores de tesis y miembros del tribunal. La tesis la complementan una introducción general y una sección con conclusiones globales al final. A continuación, se describe en detalle el contenido de las cuatro secciones:

- Capítulo 1: “INTRODUCCIÓN GENERAL”, plantea los antecedentes, problemas, hipótesis y objetivos que se enmarcan en la tesis.
- Capítulo 2: “CLIMATE CHARACTERIZATION OF THE ATLANTIC WINE-GROWING ZONE OF URUGUAY”, aborda la descripción regional de la zona atlántica en base a estaciones meteorológicas y se contrasta con la región vitícola tradicional sur del país (Departamento de Canelones). En segundo lugar, se analiza el clima a meso-escala y su interacción con las condiciones geográficas del sitio de estudio.
- Capítulo 3: “RESPUESTA DE LOS CV TANNAT Y CV ALBARIÑO AL MESOCLIMA EN LA REGIÓN ATLÁNTICA DEL URUGUAY”, se enfoca en un análisis fisiológico y de comportamiento agronómico del cultivo de cv. Tannat y cv. Albariño en la zona costera atlántica de Uruguay y cómo varía su desempeño a escala temporal y espacial.
- Capítulo 4: “CONCLUSIONES”, es una puesta a punto globalizadora de las conclusiones desarrolladas en los capítulos previos de la tesis.

Capítulo 2: CLIMATE CHARACTERIZATION OF THE ATLANTIC WINE-GROWING ZONE OF URUGUAY

2.1 RESUMEN

El clima es uno de los componentes que define el *terroir*, por lo que es necesario conocerlo y describirlo como elemento que se asocie a la tipicidad de un producto, a su calidad y sostenibilidad a lo largo de los años. A su vez, la integrante térmica reviste particular relevancia, ya que se relaciona estrechamente con el desarrollo y crecimiento de la vid y la composición de la uva. El objetivo es evaluar la nueva región vitícola atlántica del Uruguay, a nivel regional, en comparación a la zona vitícola tradicional (Canelones) y a nivel meso climático en interacción con la topografía del sitio. Para ello, se contrastaron las estaciones meteorológicas ubicadas en ambas regiones durante un periodo de 4 años y en la zona atlántica se desplegó una serie de 19 sensores de temperatura en situaciones topográficas contrastantes durante los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20. En base a la información climática, se calcularon bioindicadores adaptados al cultivo de la vid y se establecieron relaciones con la topografía del lugar en estudio. La zona atlántica fue 0,6 °C más fresca durante el ciclo vegetativo comparado al sur. Las mayores diferencias se registraron en los indicadores de temperaturas extremas, donde se observaron hasta 21 días menos con temperaturas superiores a 30 °C en la región atlántica comparada al sur. En cuanto al mesoclima, se observó una variabilidad temporal de la temperatura condicionada por las precipitaciones y una variabilidad espacial asociada a la topografía. La altitud fue el principal elemento que modificó este componente del clima, seguido por la pendiente y por la exposición. Parcelas en zonas bajas (70msnm) y con baja pendiente (<5,6) presentaron mayor temperatura durante el día (+1,7 °C) y mayor amplitud térmica (+2,1 °C), debido a estar menos expuestos a los vientos. Las diferencias térmicas entre parcelas se hicieron más notorias en el año cálido (2018-19). Caracterizar la región con respecto al clima local, brinda información aplicada a los sistemas de producción vitícolas. Por consiguiente, permite orientar decisiones agronómicas de manera eficientes para obtener productos diferenciados y sostenibles a lo largo de los años.

Palabras clave: variabilidad de la temperatura, topografía, *terroir*

2.2 SUMMARY

Climate is one of the components that define the terroir, so it is necessary to know and describe it as an element associated with the typicity of a product, its quality and sustainability over the years. In turn, thermal integration is particularly relevant, as it is closely related to the development and growth of the vine and the composition of the grape. Global temperature is determined by latitude; however, at the mesoscale, it can vary according to topography or the proximity of large bodies of water. The objective is to evaluate the new Atlantic winegrowing region of Uruguay, at regional level, in comparison to the traditional winegrowing area (Canelones) and at mesoclimatic scale in interaction with the topography of the site. For this purpose, weather stations located in both regions were contrasted over a 4-year period and a series of 19 temperature sensors were deployed in the Atlantic zone in contrasting topographic situations during the 2018-19 and 2019-20 production cycles. Based on the climatic information, bioindicators adapted to grapevine cultivation were calculated and relationships were established with the topography of the site under study. The Atlantic zone was 0.6 °C cooler during the vegetative cycle compared to the south. The greatest differences were recorded in the extreme temperature indicators, where up to 21 fewer days with temperatures above 30 °C were observed in the Atlantic region compared to the south. Regarding the mesoclimate, a temporal variability of temperature conditioned by precipitation and a spatial variability associated with topography were observed. Altitude was the main element that modified this climate component, followed by slope and exposure. Plots at low altitude (70 masl) and with low slope (<5.6) had higher daytime temperature (+1.7 °C) and greater thermal amplitude (+2.1 °C), due to being less exposed to winds. Thermal differences between plots became more noticeable in the warm year (2018-19). Local climate characterization of the region provides information applied to viticultural production systems. It allows to guide agronomic decision-making in order to obtain differentiated and sustainable products over the years.

Key words: Temperature variability, Ocean wine region, Topography, Uruguay

2.3 INTRODUCTION

Climate and its interaction with wine production is a worldwide subject of study. Global temperature is mainly affected by latitude (Barry and Chorley, 2010), with the main winegrowing regions located between the 30th and 50th parallels in both hemispheres. Winkler et al. (1974) developed the Degrees Days (GDD) methodology to describe heat accumulation for regionalization of the wine regions in California. Schultz et al. (2010) determine that the thermal limits for wine grape production range from 850 to 2700 GDD. However, the conditions given by latitude can be modified by regional factors (altitude and continentality) (Neethling et al., 2019). In recent decades there has been increasing interest about the climate behavior and its future change (Schultz and Jones, 2010). Keller (2010) reports that the global average temperature will increase 2.5 °C by 2050 which will translate into an increase of 535 GDD in each production zone, which will have an impact on the grapevines' growth and development, increasing berries sugar levels and decreasing their final acidity.

Climate variability can be studied at three spatio-temporal levels: 1)- Macro-climate: covers regions or areas of more than 100 km. The study focuses on annual, seasonal or monthly effects and on a time series of at least 30 years (Deloire et al., 2005). At global level, Koppen classification is used to distinguish large regions, with Uruguay corresponding to the "Caf" category of temperate, moderate, rainy (no marked rainy season), humid and with the temperature of the warmest month higher than 22 °C (INUMET, 2020). 2)- Meso-climate: covers areas from 100 meters to several kilometers, the temporal focus is hourly and/or daily data (Neethling et al., 2019). It is also known as "topo-climate" since topographic factors (altitude, slope, and aspect) cause the climatic regime of the site to vary (Deloire et al., 2005). It is also influenced by proximity to large bodies of water such as rivers and/or oceans (Fourment et al. 2017, Bonnardot et al. 2012, Bois et al. 2008) 3)- Micro-climate: represents the area surrounding the plant canopy, being from centimeters to meters and is affected by vineyard vigor, plant architecture, cultural practices, and soil surface characteristics (Deloire et al. 2005, Haselgrove et al. 2000).

The meso-climate refers to spatial portions of vineyard scale (Deloire et al., 2005) and its analysis helps to understand the climatic regime with greater definition (Bonnefoy et al., 2013). Worldwide, several authors have studied and differentiated viticultural zones based on topography (Falcão et al. 2010, Blanco-Ward et al. 2007, Carey et al. 2008, Dumas et al. 1997). However, the different parameters (altitude, slope, aspect, etc.) and their combination have differentially affected each situation under study.

Changes in altitude result in different slopes and aspect, which modify the interception of solar radiation and consequently air temperature. With respect to aspect, the north, east and west faces receive the most radiation in the southern hemisphere, the difference being greater in spring and autumn (Jones and Hellman, 2003). On the other hand, east-facing faces warm up faster in the morning and cool down earlier in the afternoon (Carey, 2001). The slope plays a fundamental role in the drainage of cool air and water to the lower zones (Jones and Hellman, 2003). In turn, it intensifies the effect of soil exposure on solar radiation interception. Jones and Hellman (2003) show that in the northern hemisphere, a 10° slope to the south provides 25% more radiation than its counterpart in flatland conditions. Altitude, causes temperature to vary by -0.6 °C per 100 m of elevation (Barry and Chorley, 2010). However, at fine scale, authors have found that low areas at night have presented cooler temperatures during the grape ripening period due to specific thermal inversion cases (Bonnefoy et al. 2013, Bonnardot et al. 2012). On the other hand, altitude conditions the exposure and speed of the wind over the vineyards, which modifies air temperature (Dumas et al., 1997). The topographic configuration can affect the degree of openness of the landscape, conditioning ventilation, and the interception of solar radiation. This variable was studied by Lebon et al. (1993) through the angle of landscape openness and used by Dumas et al. (1997) to describe and differentiate vineyard zones in the Alsace area (France).

Meso-climate can varie because of the sea breeze phenomenon. It is the result of differential heating between the land surface and the ocean surface, thus generating a flow of air from the cooler to the warmer site (Berri et al. 2010, Planchon et al. 2006, Bonnardot et al. 2005, Bonnardot et al. 2002). Therefore, during the day there is an

increase in wind speed towards land (sea breeze) and at night it rotates in an oceanic direction (land breeze). The penetration of the sea breeze reaches its maximum in the afternoon and reduces the maximum thermal events that occur during the day. In this way, proximity of large bodies of water, contributes to reduction of heat stress during the grapevine growing season and berry ripening (Dougherty 2012, Hunter and Bonnardot 2011).

Increased wind helps to combat fungal diseases, as well as uncover shaded leaves by improving photosynthesis. However, winds above 6 m/s can cause physical damage, reduced shoot length, leaf size and stomatal density (Vogel, 2009).

Ferrer et al. (2007), when classifying Uruguay regionally using the multicriteria method of Tonietto and Carbonneau (2004), described the coastal zone (Rio de la Plata and Atlantic Ocean) as ISA₁HIA₄CNIA₂ and mentioned it as the coolest region during summer. January temperature (the warmest month) coincides with the record of INIA-GRAS (2020), however, the latter separates the Atlantic zone as the coolest compared to the Rio de la Plata region. Berri et al. (2010) show a strong sea breeze cycle in the estuary of the Río de la Plata, which later Manta et al. (2021) when studying in detail the behavior of this phenomenon along the coast of Uruguay finds differences between the Atlantic Sea breeze and the breeze caused by the estuary of the Río de la Plata due to the differences in air-sea coupling and the orientation of the coast in relation to the prevailing northeasterly winds (during summer). Fourment et al. (2017) demonstrate how under extreme thermal situations during grape ripening, the penetration of the breeze coming from the Rio de la Plata can decrease the thermal stress on the vines, associated with the topography of the site. Similar studies were conducted in Stellenbosch wine-growing region of South Africa (Bonnardot et al. 2012, Bonnardot et al. 2005, Bonnardot et al. 2002), where terrain complexity (topography) and distance to the sea were key factors in determining sea breeze penetration in vineyards.

Associated with the oceanic climate and sea breeze, there are more cloudy conditions, greater occurrence of thunderstorms and morning fog (Barry and Chorley, 2010). For Jones et al. (2010), clouds in maritime climates are one of the main reasons for generating interannual variability in wine quality.

Grapevine cultivation in interaction with climate has been the subject of study throughout history. In the 19th century, it was already known that *Vitis vinifera* L. began to bud when temperatures were above 10 °C (Dougherty, 2012). To understand in detail the grapevine's behavior, several authors have developed indicators that allow relating plant development to temperature: Degree Days (GDD) (Winkler et al., 1974), Heliothermal Index (HI) (Huglin, 1978), Cool Night Index (CNI) (Tonietto and Carbonneau, 2004), relative humidity (RH) and number of days with temperatures above 30 and 35 °C (ND30 and ND35) (Hunter and Bonnardot, 2011). Climatic indicators adapted to grapevine have been useful to describe and predict varietal behavior in interaction with temperature (Parker et al. 2020, Van Leeuwen et al. 2008). Thus, Parker et al. (2020) analyzed the relationship between soluble solids accumulation and temperature with the objective of predicting situations in productive sites. Therefore, they found that the GDD model, later renamed GSR, and the GIS model of Chuine et al. (1999) are the most efficient for predicting the grapes accumulation of soluble solids for different varieties.

On the other hand, bioclimatic indicators have been used to describe, characterize, predict, and compare sites (Bonnetoy et al. 2013, Hall and Jones 2010; Blanco-Ward et al. 2007, Tonietto and Carbonneau 2004). In Uruguay, a first regional viticultural zonation based on the multicriteria classification of Tonietto (1999) and Tonietto and Carbonneau (2004) has been developed by Ferrer et al. (2007) as mentioned above. For their part, Fourment et al. (2017), apply diverse bioclimatic indicators in the southern region of Uruguay, obtaining great variability of climate at the meso-scale. In turn, Cancela et al. (2016), in DO Rias Baixas (Spain), site of origin of the white Albariño variety, described the climatic conditions through the multicriteria classification of Tonietto and Carbonneau (2004), obtaining the category of temperate, with mild nights and humid climate.

The general objective of this chapter is to analyze climate variability at the regional scale (eastern region compared with to the southern wine region) and at the meso-scale (in relation to topography). The general hypothesis of this chapter is that the presence

of the Atlantic Ocean, linked to topography, are elements that influence the spatial and temporal variability of climate in the vineyards.

2.4 MATERIALS AND METHODS

2.4.1 Comparative climatic analysis between the southern region and the Atlantic region

In the regional climate analysis, data from the following weather stations were used: Rocha (RO) from INUMET (Uruguayan Institute of Meteorology), High Garzón (HG) and Low Garzón (LG) located in the commercial vineyard under study and owned by Bodega Garzón, and Las Brujas (LB) from INIA (National Institute of Agricultural Research). The first three are located 20, 21 and 21 km from the Atlantic Ocean respectively, and the fourth is 13 km from the Río de la Plata (Figure 1; Table 1). The LB station is in the traditional wine-growing area of Uruguay. It is considered in this analysis as a reference station to compare with respect to the rest of the Atlantic stations. For the analysis, the records of the years 2015-2016-2017 and 2020 were taken, in which the data pairs were complete.

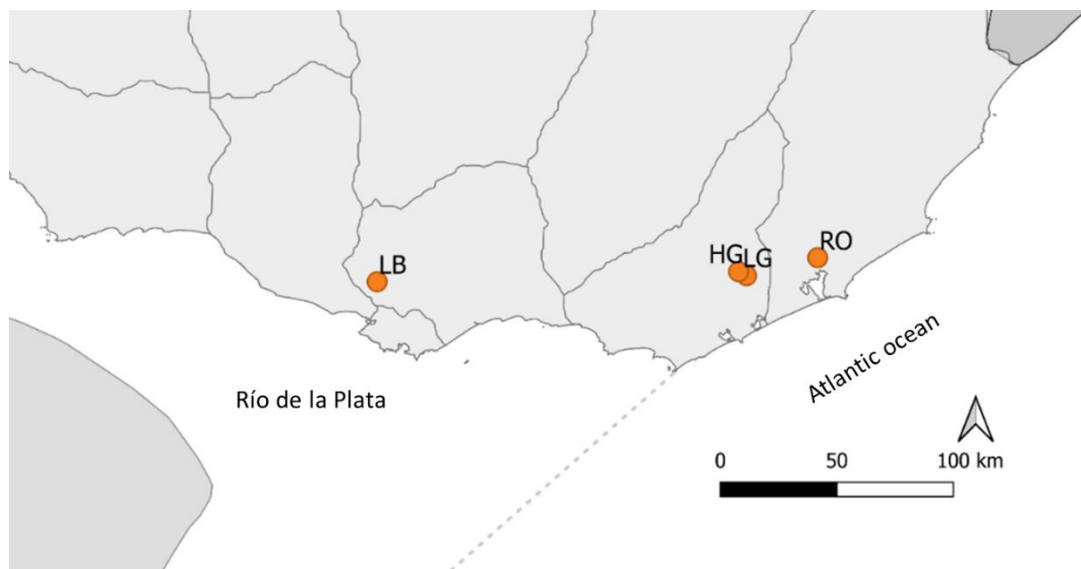


Figure 1. Location of meteorological stations used for the regional climate analysis. Las Brujas (LB), High Garzon (HG), Low Garzon (LG) and Rocha (RO).

Climate bioindicators adapted to grapevine were used: GDD, HI, CNI, ND30 and ND35, as well as another climatic variables were calculated: average cycle temperature (Tavg), mean maximum summer temperature (TmaxS), thermal amplitude (TA), precipitation (PP), wind speed (Wind), wind direction (WindDir), potential evontranpiration (ETP) and relative humidity (RH) (Table 2).

Table 1. Geographical description of the meteorological stations used for regional climate analysis.

Station	Distance to vineyard under study (km)	Altitude (m)	Distance to water body (km)	Coordinates
Las Brujas (LB)	157	30	13*	34°64′ S; 56°33′ O
Rocha (RO)	30	30	20 **	34°48′ S; 54°30′ O
Low Garzón (LG)	0	80	21**	34°57′ S; 54°60′ O
High Garzón (HG)	0	140	21**	34°57′ S; 54°61′ O

*From la Plata river **from the Atlantic ocean.

2.4.2 Mesoclimatic analysis of the Atlantic region

For the meso-scale analysis, a commercial vineyard was selected in Pueblo Garzón, Maldonado (34. 57° S; 54. 60° W). 19 plots were selected at different topographic situations, within a radius of 2 km and an average distance of 20 km in a straight line to the Atlantic Ocean. In each plot, a Tiny Tag data logger ® temperature sensor (Gemini Data Loggers Ltd., UK) was placed on the vineyard trellis at a height of 2 m above ground level (Figure 2). The sensors recorded air temperature every 15 minutes during the growing season corresponding to the 2018-2019 and 2019-2020 periods (September 1 - March 1). Based on the thermal data recorded, for each plot the bioclimatic indices GDD, HI, GSR, SIG, CNI, ND30, ND35, Tavg, TA and TmaxS were calculated. (Table 2).

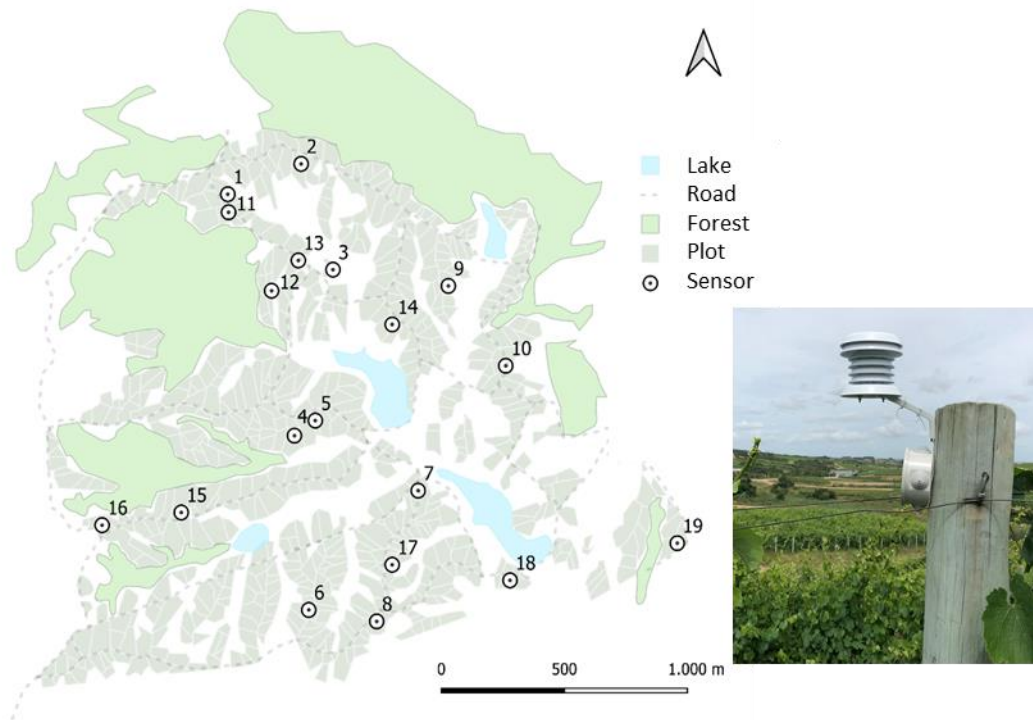


Figure 2. Map of plots locations (left) and temperature sensor installed in the vineyard (right) for meso-scale analysis.

The topographic information used in the meso-climatic analysis was processed through the geographic software QGIS (QGIS.org, 2021) using the virtual altitude layer (DEM) generated by IDEuy (Spatial Data Infrastructure of Uruguay, IDEuy, 2020). It presents a pixel definition of 3m x 3m and was used to calculate the values of altitude, slope and aspect. On the other hand, aerial photos obtained from IDEuy were used to identify the selected plots, as well as those areas that may influence the meso-scale analysis, such as lakes, forests, buildings, etc.

2.4.3 Statistical analysis

Values were differentiated by analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test with a p-value < 0.05 between different letters. Correlations were established by means of simple linear regressions of first and second order with p-value < 0.05. To analyze variables of different origin and their correlations, multivariate statistical analyses such

as principal component analysis (PCA) and cluster analysis were applied. Data were processed through INFOSTAT® statistical software (Di Rienzo et al., 2011).

Table 2. Description of the bioclimatic variables adapted to vines.

Abbreviation	Index	Period	Calculation	Analysis**
Tavg (°C)	Average temperature	1/9- 1/3	$\dot{x}(T_{\max}-T_{\min})/2$	WS y TS
TavgH (°C)	Average hourly temperature	21/12- 1/3	$\dot{x}(T_{\max}-T_{\min})/2$ por hora	WS y TS
GDD	Degree day	1/9 - 1/3	$\sum[(T_{\max}-T_{\min})/2] - 10$	WS y TS
TA (°C)	Thermal amplitude	15/1 - 1/3	$\dot{x}(T_{\max}-T_{\min})$	WS y TS
CNI	Cool night index	1/2 - 28-2	$\dot{x}(T_{\min})$	WS y TS
ND30	Number of days with temperatures above 30 °C	1/9 - 1/3	$\sum (N^{\circ} \text{ días } \geq 30^{\circ} \text{C})$	WS y TS
ND35	Number of days with temperatures above 35 °C	1/9 - 1/3	$\sum (N^{\circ} \text{ días } \geq 35^{\circ} \text{C})$	WS y TS
HI	Heliothermal index	1/9 - 28/2	$\sum [(((T_{\max}-T_{\min})/2] - 10) + (T_{\max} - 10)) / 2]$	WS y TS
TmaxS (°C)	Average maximum summer temperature	21/12 - 1/3	$\dot{x}(\max)$	WS y TS
SIG	Sigmoidal model	1/9 – 1/3	$\sum 1/(1+e^{d(T_{\text{avg}}-e)})$	TS
GSR	Grapevine sugar ripeness	1/9 -1/3	$\sum (T_{\max}-T_{\min})/2$	TS
WindH (m/s)	Hourly wind speed	21/12- 1/3*	$\dot{x}$ hour	WS
WindDir (°)	Hourly wind direction	21/12- 1/3*	$\dot{x}$ hour	WS
RH (%)	Hourly relative humidity	21/12 – 1/3*	$\dot{x}$ hour	WS
PP (mm)	Precipitation	1/9 -1/3	$\sum$ PP per day	WS
ETP (mm)	Potencial Evotranspiration	1/9 – 1/-3*	ETP Penman per day	WS

**Analyzed for WS=weather station, TS=temperature sensor.

*Weather data only for the 2019-20 cycle.

2.5 RESULTS

2.5.1 Comparative climatic analysis between the southern region and the Atlantic region

The average value of the indicators calculated from a four-year series is shown in Table 3. The analysis of the records shows a significant difference of between -11 and -21 ND30 for the stations located in the Atlantic zone compared to the southern region. The TmaxS in the Atlantic zone was 0.9 to 1.8 °C lower than that recorded by LB.

No significant statistical differences were recorded between stations respect to CNI, HI, GDD, Tavg, PP and ND35. However, in absolute numbers, station LB presented the highest GDD value (1848 GDD), registering a difference of 150 GDD with the station with the lowest accumulation (LG). In absolute numbers, LB also had the highest Tavg (+0.8 °C over LG), the highest HI (+153 over HG), the highest ND35 (3 days over HG) and the lowest rainfall (-199 mm compared to LG).

Table 3. Mean climate variables in southern region (LB) and eastern region (HG, RO and LG) for the studied years (2015-2016-2017 and 2020) .

Index	LB	HG	RO	LG
CNI	17.7 a	18,1 a	16,9 a	16,1 a
HI	2215 a	2062 a	2068 a	2116 a
GDD	1848 a	1791 a	1734 a	1698 a
Tavg (°C)	19.5 a	18,9 a	18,9 a	18,7 a
ND30	50 a	29 b	30 b	39 b
ND35	4 a	1 a	1 a	1 a
PP (mm)	580 a	637 a	649 a	699 a
TA (°C)	12.1 a	9.7 b	11.5 ab	12.9 a
TmaxS (°C)	29.1 a	27.3 c	27.9 bc	28.2 b

RO = Rocha, HG= High Garzón, LG= Low Garzón and LB= Las Brujas.

Regarding TA and TmaxS, there were significant differences between the stations located in the Atlantic zone, mainly between the HG and LG stations located in the same vineyard at different altitudes. LG presented +3.2 °C of TA and + 0.9 °C of TmaxS compared to HG. The CNI index did not show significant statistical differences, but LG and HG were the extreme values, with a difference of 2 °C in favor of HG.

The multivariate analysis showed a total variability of 98.5%, where 66.1% correspond to component 1, given mainly by the indicators TmaxS, ND30, HI, ND35, Tavg and GDD, associated with station LB. In opposition to this, on component 1 appear the rest of the stations located on the oceanic coast, related to PP. On component 2, which represented 32.4% of the total variability, TA and CNI are the main indicators to differentiate the stations located in the vineyards (LG and HG), with station RO at an intermediate point (Figure 3).

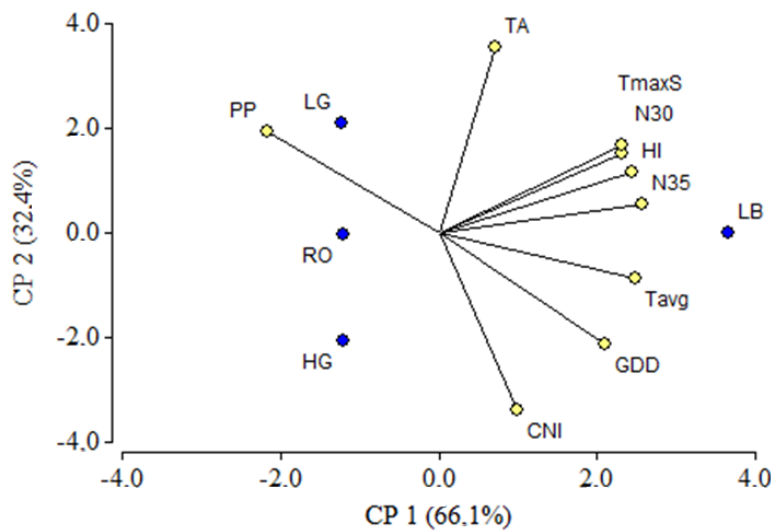


Figure 3. Principal component analysis (PCA) between climatic variables (in yellow) and the climate stations (in blue), where RO = Rocha, HG= High Garzón, LG= Low Garzón and LB= Las Brujas, PP = rainfall, TA = thermal amplitude, TmaxS = summer maximum temperature, ND30 = number of days above 30 °C, ND35 = number of days above 35 °C, HI = Heliothermal index, Tavg = average temperature, GDD = growing degree days and CNI = Cool night index.

The average hourly evolution of temperature, humidity, and wind speed for summer 2020 for stations RO and LB (Figure 4) showed a higher thermal intensity during the day at station LB compared to RO. The highest temperature between stations occurred between 16 and 19 at local hour (LH), with the largest difference at 17 LH of + 1.6 °C at LB. Both stations showed an increase in wind speed during the day, however, the RO station presented a higher intensity. The maximum peak of 4.9 m/s occurred between 15 and 18 h HL, 2.0 m/s higher than LB. Humidity showed a descending pattern towards the day at both stations, however, RO recorded on average 10 % higher humidity values compared to LB.

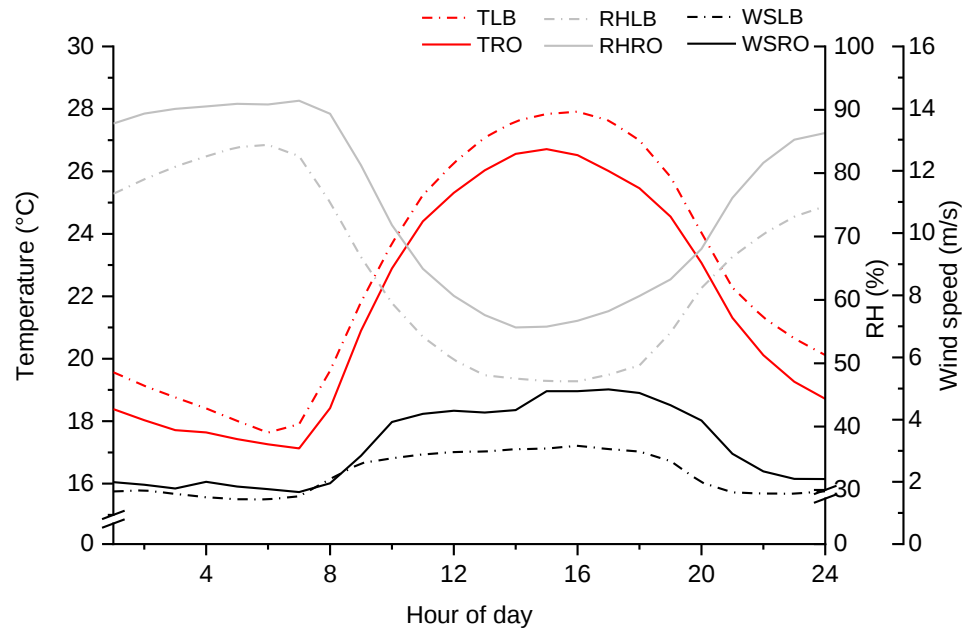


Figure 4. Daily average evolution of temperature, humidity and wind speed for stations LB and RO in the period from 21/12/2019 to 1/3/2020.

When analyzing the wind direction frequency and intensity in RO station during the summer 2019-20, it was observed how in the afternoon (16 LH) a pattern of winds with west - north inland direction predominated (Figure 5, A). As for the early morning (4 LH), the pattern was reversed, increasing the frequency of winds with predominantly south - southwest direction with marine direction (Figure 5, B). The intensity of the winds was higher during the day compared at night, reaching values above 6 m/s.

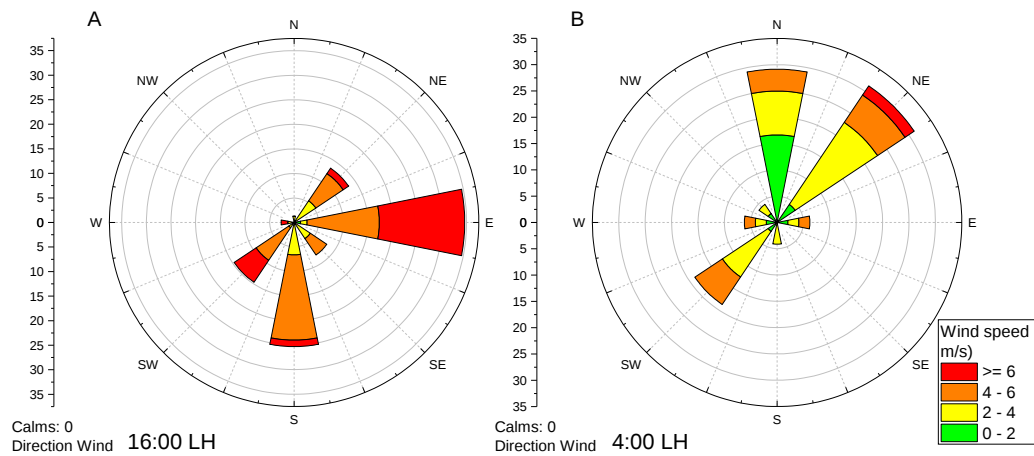


Figure 5. Direction, intensity, and frequency of winds occurred at RO station for the period 21/12/2019 to 1/3/2020 at 16 LH (A) and 4 LH (B).

2.5.2 Meso-climatic analysis of the Atlantic area

2.5.2.1 Topographic analysis

The altitude, aspect and slope maps obtained for the topographic configuration of the vineyards are shown in Figure 6 and described in Table 4.

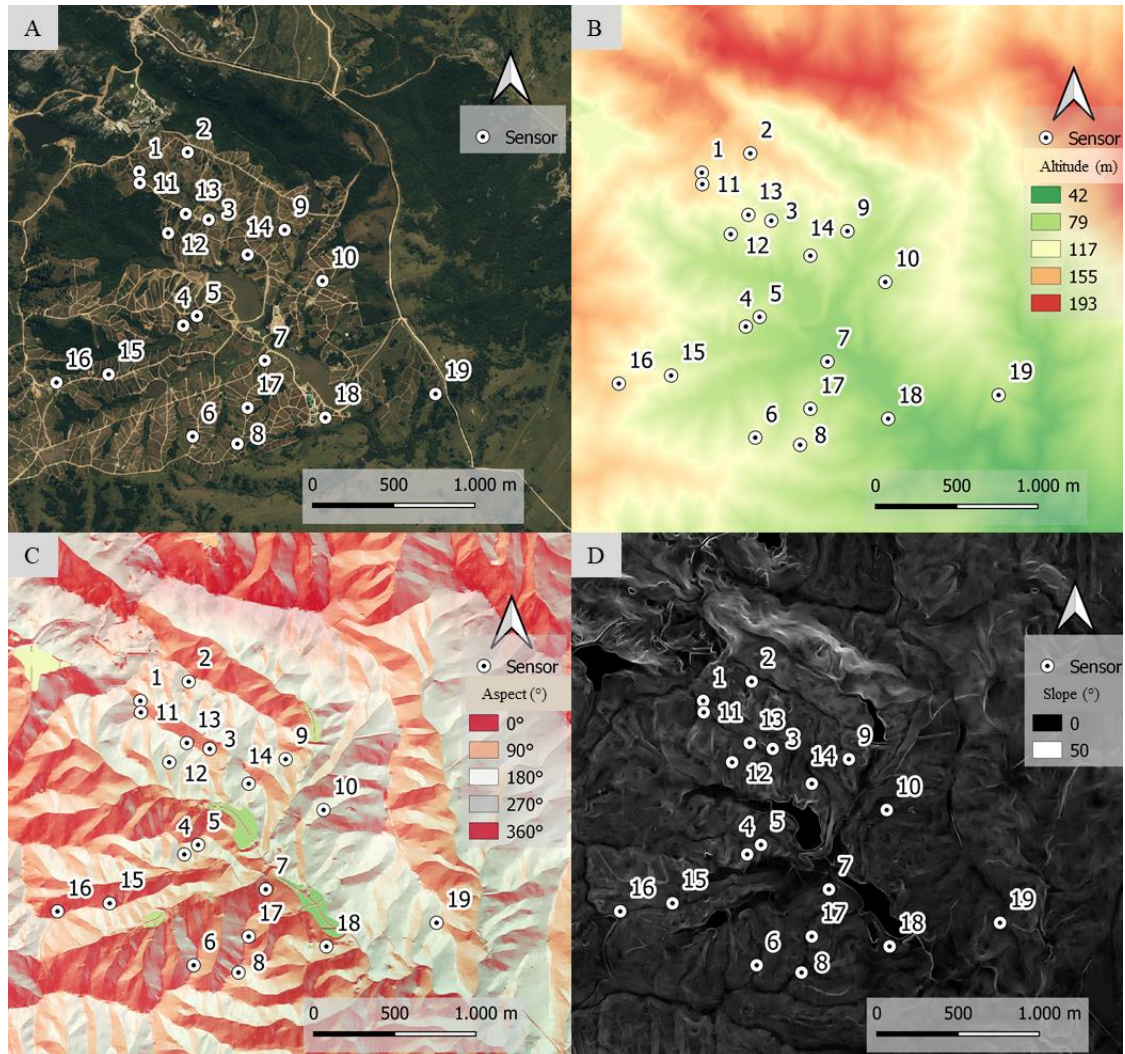


Figure 6. Location map of temperature sensors: vineyard satellite image (A), altitude (B), aspect (C) and slope (D).

To group similar topographic conditions, altitude and slope were grouped into 3 categories (Low altitude: 72-95, medium: 96-117, high: 118-140 meters above sea level - masl; Slope 1: 0 - 5.8; 2: 5.9 - 8.7; 3: 8.8 - 11.6 degrees - °). The criterion to

construct the class width was the highest value found minus the lowest divided by 3. With respect to the aspect of the terrain, it was grouped in the four cardinal points.

Table 4. Topographical description of the location of TinyTag Data Loggers® temperature sensors and their classification

Sensor	Altitude (masl)	Slope (°)	Aspect (°)	Altitude category	Aspect category	Slope category
1	135	9.4	110	High	E	3
2	140	11.2	187	High	S	3
3	108	9.3	43	Middle	N	3
4	92	11	122	Low	E	3
5	92	11.6	160	Low	S	3
6	110	7.5	323	Middle	N	2
7	77	5.7	345	Low	N	1
8	106	5.5	135	Middle	S	1
9	96	7.9	128	Middle	E	2
10	88	4.4	172	Low	S	1
11	136	8	41	High	N	2
12	97	10.6	114	Middle	E	3
13	118	6.8	214	High	S	2
14	103	6	278	Middle	W	2
15	112	8.7	46	Middle	E	2
16	134	11.4	35	High	N	3
17	95	5.8	95	Low	E	1
18	72	5.7	157	Low	S	1
19	85	2.9	245	Low	W	1

2.5.2.2 Meso-climate temporal variability

During the s period of the 2018-19 and 2019-20 growing seasons, there were differences between vintages in terms of rainfall. The 2018-19 cycle was the rainiest, reaching an accumulated 928 mm from 1/9 to 15/3. The 2019-20 period, reached 578 mm during the cycle, however, it recorded the highest accumulation of rainfall (107 mm) in the phenological phase of flowering-setting compared to the previous year where 57 mm were recorded in the same period. The ETP was higher in the 2019-20 growing season, registering on average 4.3 mm/day, compared to 3.9 mm/day in the 2018-19 period. The difference intensified in the summer period, with the 2019-20

growing averaging 5.2 mm/day compared to 4.3 mm/day in the previous year (Figure 7).

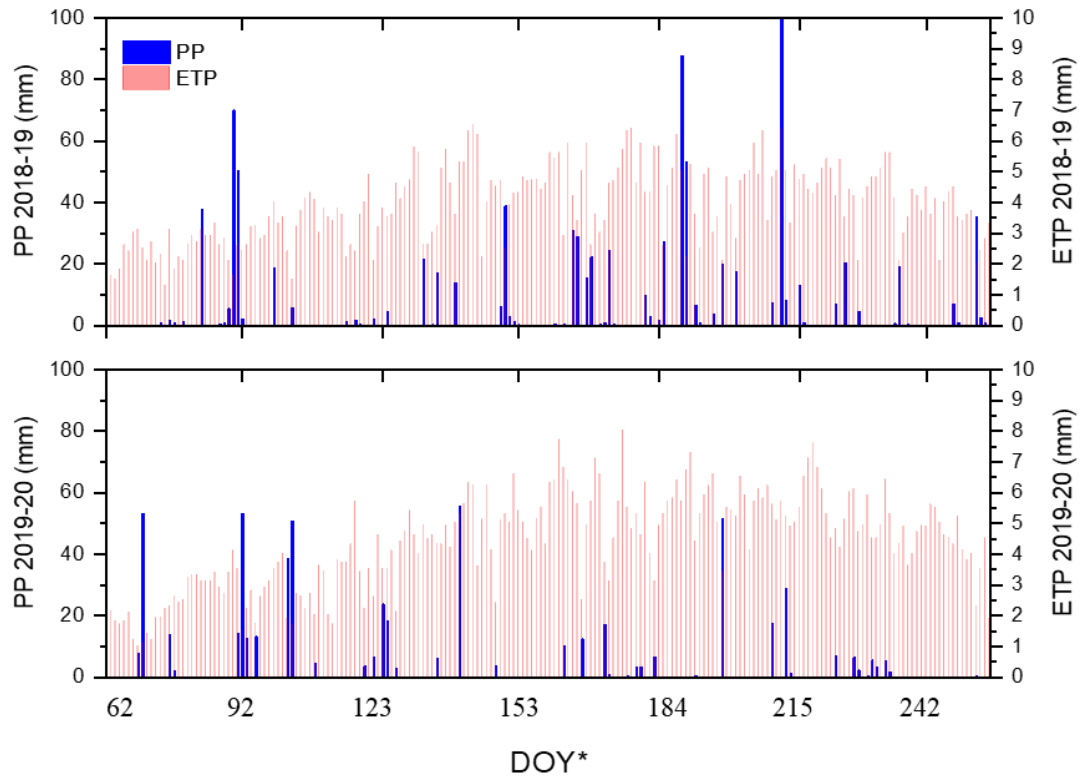


Figure 7. Evolution of daily Precipitation and ETP (in mm) for the 2018-19 and 2019-20 growing seasons. *Day of year (1 = 1 July). Source: INIA-GRAS 2020.

The variability of meso-climatic results between years are shown in Table 5. The value of the annual indicators is the result of the average of the 19 sensors for each year. The 2019-20 vintage significantly presented the highest value of HI (+ 176), GDD (+ 97), ND30 (+ 29), TmaxS (+ 1.8 °C), Tavg (+ 0.6 °C), TA (+ 2.2 °C), GSR (+ 161) and SIG (+ 3). The variation between years was greater than the value obtained between plots for the same year. There were no significant differences between years for CNI and ND35, maybe because a standard deviation greater than the annual difference. The 2019-20 growing season presented the highest level of variation between plots, recorded in the standard deviation of all indicators except for ND35.

Table 5. Average value and standard deviation (S.D.) for the climatic variables calculated from the 19 thermal sensors, for 2018-19 and 2019-20 growing seasons.

Index	2018-19		2019-20	
	Average	S.D.	Average	S.D.
HI **	2106	20.5	2282	32.4
CNI	16.2	0.4	16.1	0.4
GDD **	1651	13	1748	33
TA * *	11.5	0.7	13.7	0.8
ND30 **	29	4	58	4
ND35	5	2.4	6	2.2
TmaxS **	28.1	0.4	29.7	0.4
Tavg **	19.1	0.1	19.7	0.2
SIG **	133	0.5	136	1.5
GRS **	3408	12	3569	34

*Statistical differences between years p-value <0.05. Abbreviations in Table 3.

During summer, the 2019-20 growing season showed a higher average temperature of 22.6 °C compared to 21.8 °C in the previous cycle. However, the evolution of the mean temperature during the summer period behaved differentially depending on the year (Figure 8). The mean temperature in the 2018-19 cycle was 1.0 °C lower during January compared to 2019-20. From February onwards, the 2018-19 cycle reached the highest thermal level with 0.5 °C higher than 2019-20.

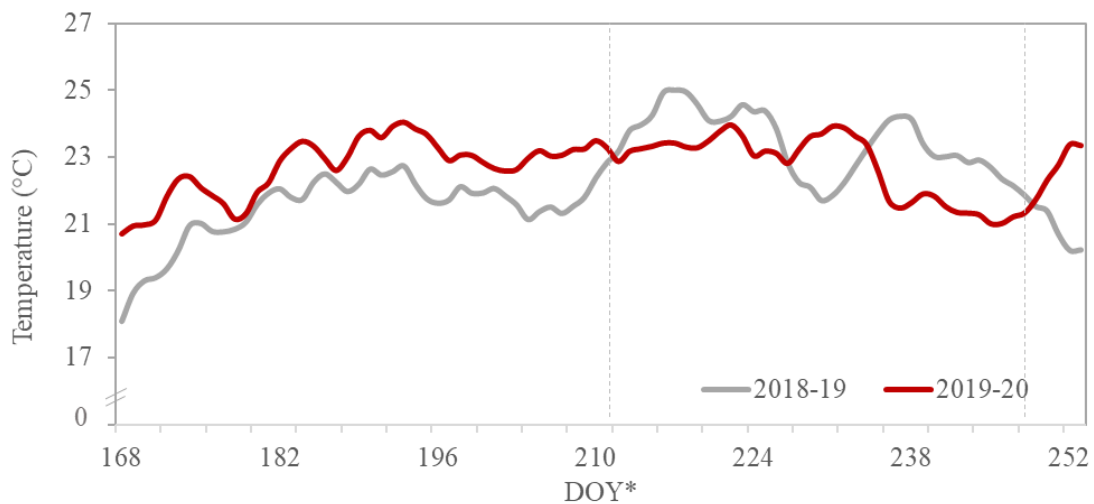


Figure 8. Evolution of moving average temperature (°C, 15 days) of the 19 sensors, during 12/15 to 3/10 in the 2018-19 (gray) and 2019-20 (red) growing seasons.

The hourly evolution of the average temperature recorded in the summer period showed how the 2019-20 growing season presented the greatest thermal amplitude, generating the highest maximum value during the day and the lowest temperature at night. For both years, the maximum temperature was generated at 14 LH and the minimum at 5 LH. The main differences between years are recorded between 11 and 15 LH, where the 2019-20 cycle on average recorded + 0.7 °C and between 21 and 3 LH marking -0.5 ° (Figure 9).

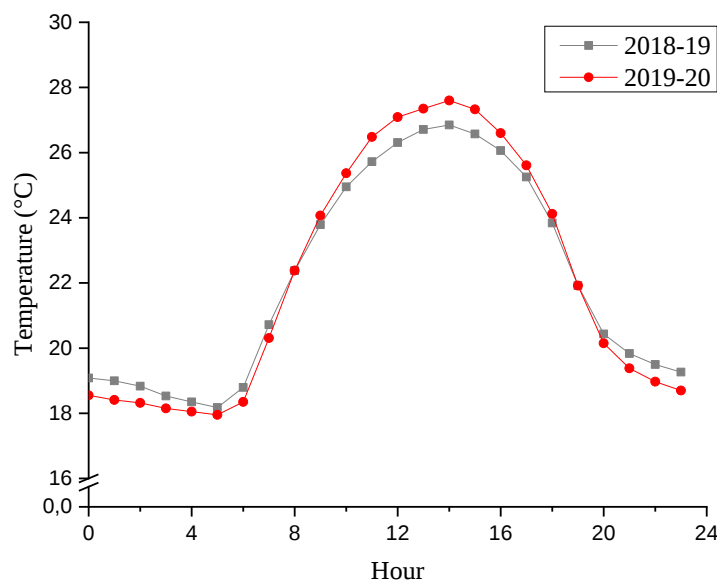


Figure 9. Average hourly thermal evolution of all sensors in the period 21/12 to 1/3 for both years under study.

For extreme temperatures, in the 2019-20 growing season all plots averaged twice as many days with values above 30 ° C compared to the record of the same in the 2018-19 period (29 days on 2018-19 and 58 days on 2019-20). For the variable ND35 the periods did not differ statistically (5 days on 2018-19 and 6 days on 2019-20).

2.5.2.3 Mesoclimate spatial variability

The results of the bioindicators adapted to grapevine for each plot in the two years under study are shown in Figure 10. Temporal variability exceeds spatial variability through GDD, HI, TmaxS, TA and ND30. Spatial variability was greater than annual variability only in CNI.

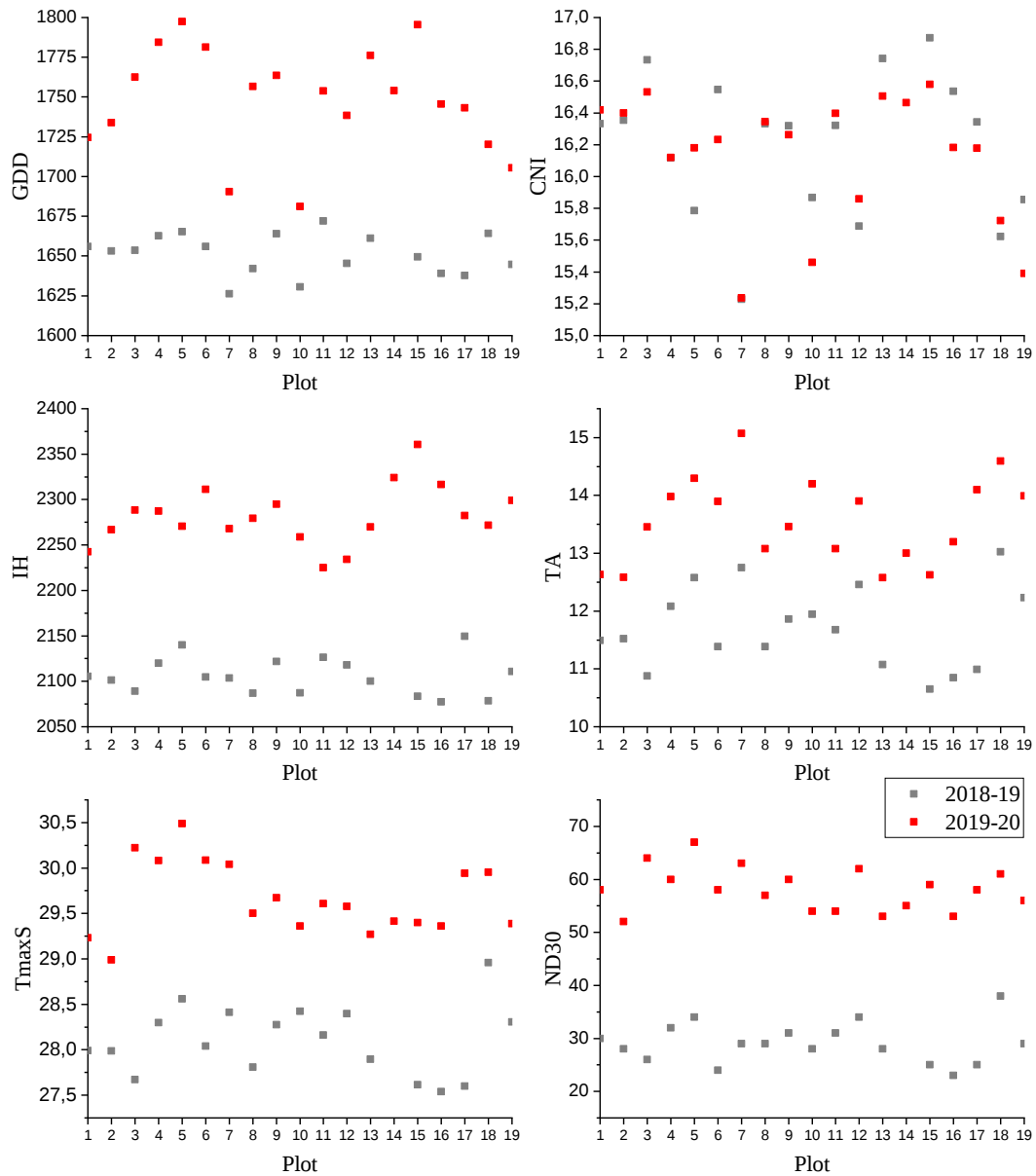


Figure 10. Result of GDD, HI, TmaxS, CNI, ND30 and TA bioindicators for each plot in the 2018-19 and 2019-20 growing seasons.

Vineyards temperature showed a significant statistical association with topography. The thermal relationship with elevation was evidenced by correlating the standardized values of each year of the TA with altitude (Figure 11, A). It was observed that the higher the altitude, the lower the thermal amplitude, described by a second order polynomial regression ($r^2 = 0.70$; $p\text{-value} < 0.05$), where above 120 masl, the decrease in TA stops. The loss of thermal amplitude with altitude was manifested both by the

reduction of maximum thermal events during the day, as well as cool events during the night. This can be seen in the negative association between altitude with ND30 ($r^2 = 0.26$; p - value < 0.05) and TmaxS ($r^2 = 0.36$; p - value < 0.05) and positive with CNI (Figure 11, B, C, D). The second order positive polynomial relationship between altitude and CNI ($r^2 = 0.70$; p - value < 0.05) has an inflection point at 120 masl where it tends to decrease.

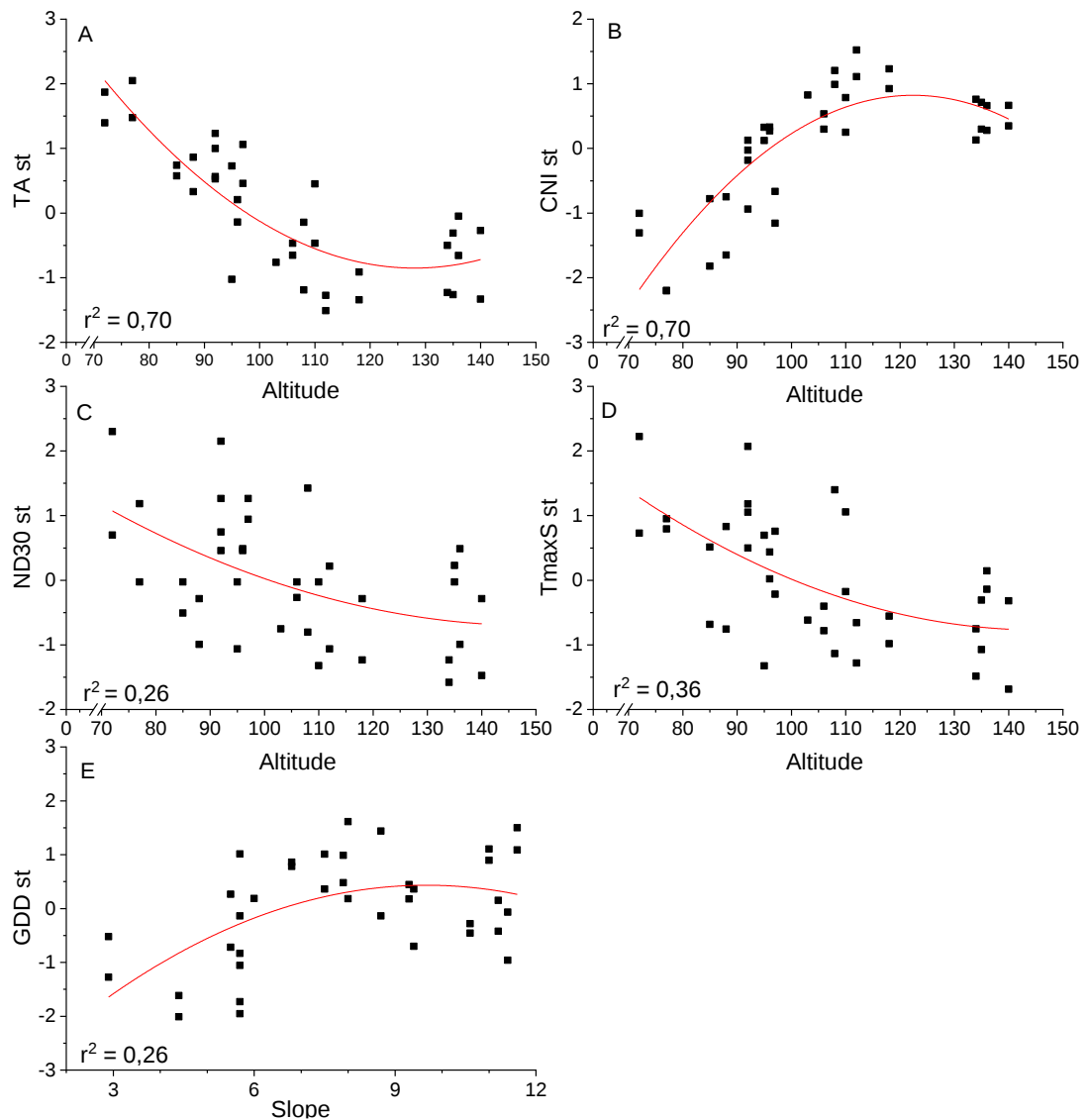


Figure 11. Interaction between plot topography and standardized bioclimatic indices between years: thermal amplitude vs. altitude (A); Cool Night Index vs. altitude (B); ND30 vs. altitude (C); Mean maximum summer temperature vs. altitude (D) and slope vs. GDD (E).

GDD accumulation had a positive linear correlation with slope ($r^2 = 0.25$; p - value < 0.05) (Figure 11, E). At high slope values, plots located in low areas (category 1) obtained the highest GDD accumulation. Finally, in no case was plot aspect significantly associated with thermal indicators.

Multivariate PCA (principal component analysis) and cluster analysis based on climate indicators (CNI, GDD, HI, ND30, ND35, TmasS, TA) and the topography components (altitude and slope), discriminated three categories of plots (Figure 12 A and B). On axis 1 of the PCA, which represents 48.7% of total variability, the red group (e.g. plot 2) was discriminated. It was associated with altitude and elevated CNI and opposed to the indicators ND30, TmaxS and TA. On axis 1 and opposite to the red group, there is the green group (e.g. plot 5) and the blue group (e.g. plot 7). The difference between the green and blue groups was on axis 2 of the PCA, which accounted for 30.7% of the total variability. The green group was differentiated on axis 2 by slope, HI, GDD and ND35. In opposition to this on axis 2, the blue group was presented opposite to slope and related to TA. Therefore, altitude generated the greatest variability represented on axis 1, second by slope which affected axis 2 of the PCA. From this information, a classification map of the plots was generated, which is shown in Figure 12 C.

Figure 13 shows the average hourly temperature evolution for the summer period (21/12 to 1/3) of the 2018-19 and 2019-20 cycles for the three reference plots, named above. The 2019-20 cycle, showed greater differences between plots in the daily temperature evolution, the maximum difference obtained was 1.7 °C at 17 LH between plot 2 and 7 (Figure 13, B). The 2018-19 period marked its maximum difference between plots at 16 LH and was 1 °C in favor of plot 7 compared to plot 2 (Figure 13, A).

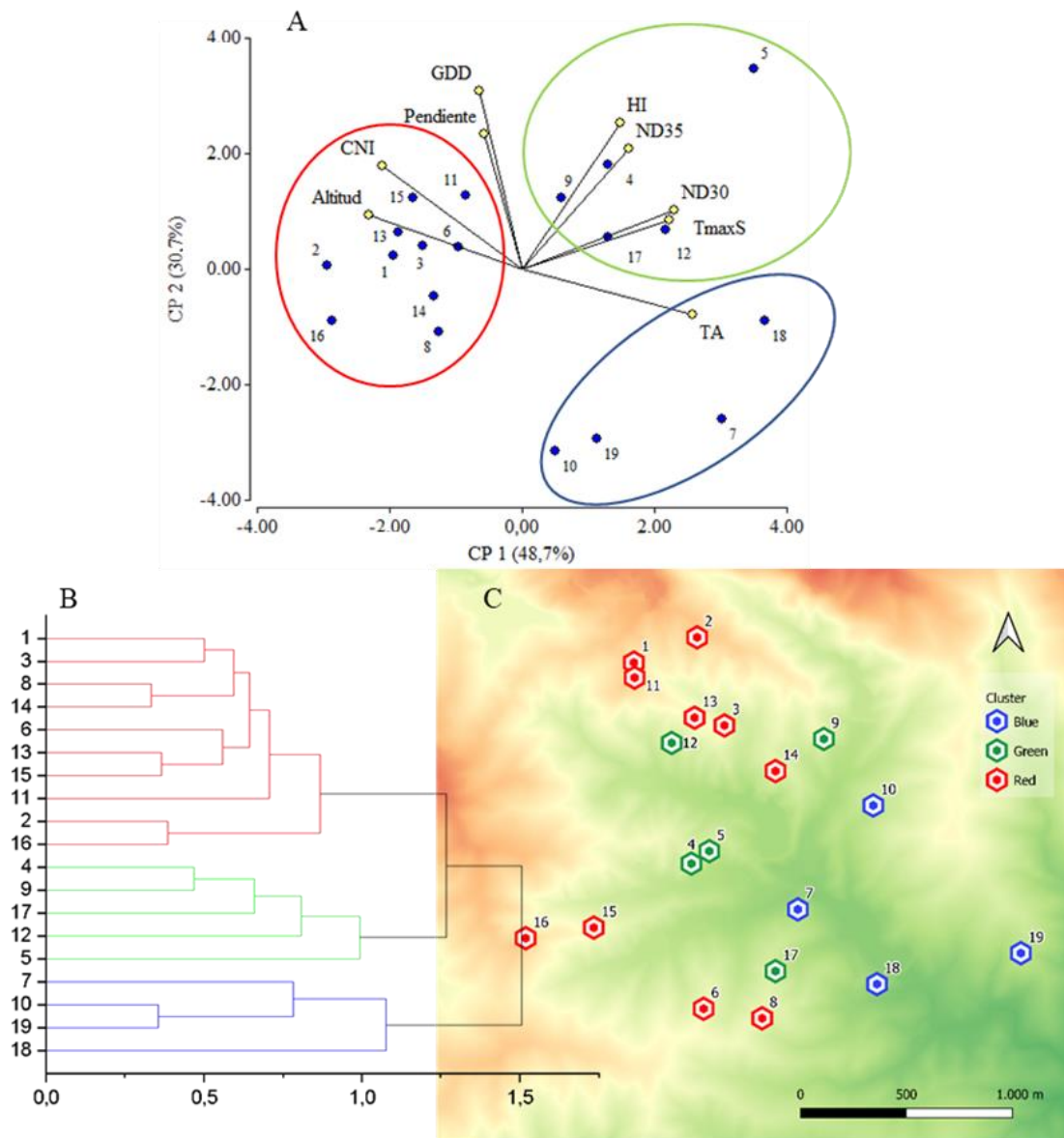


Figure 12. Multivariate analysis between plots and bioclimatic variables: Principal component analysis (A), Cluster analysis (B) and new classification of plots based on multivariate analysis (C).

The temperature evolution for the plots in the 2019-20 growing season showed a rapid increase in the morning in plot 5, favored by presenting + 1 °C at 6 LH in contrast to plot 7 (both plots located in low areas). Plot 5 showed its highest thermal accumulation during the morning until 14 LH, from that point, plot 7 is ahead, becoming the warmest during the afternoon. Plot 2 (plot at high altitude) despite starting at 6 LH with +1 °C

over plot 7, its thermal evolution increased slowly, becoming the coldest between 10 and 19 LH.

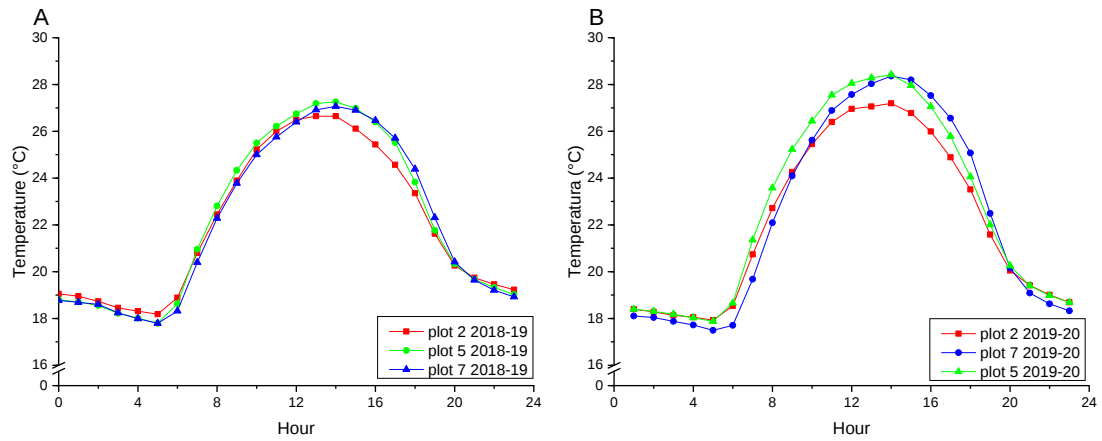


Figure 13. Hourly average thermal evolution of 3 contrasting sensors in the period 21/12 to 1/3 for: A) cycle 2018-19 and B) 2019-20.

As mentioned above, the aspect of the plots was not significantly associated with any thermal variable. However, when comparing the temperature evolution during summer (21/12 to 1/3) of plot 3 (north) and 13 (south), both members of the red group and 100 m apart (Figure 2), an increase in temperature (+0.5 °C) was observed from 11 HL to 15 HL in the plot with north orientation, only in the year 2019-20 (Figure 14, b). These differences could not be seen in the 2018-19 growing season (Figure 14, A)

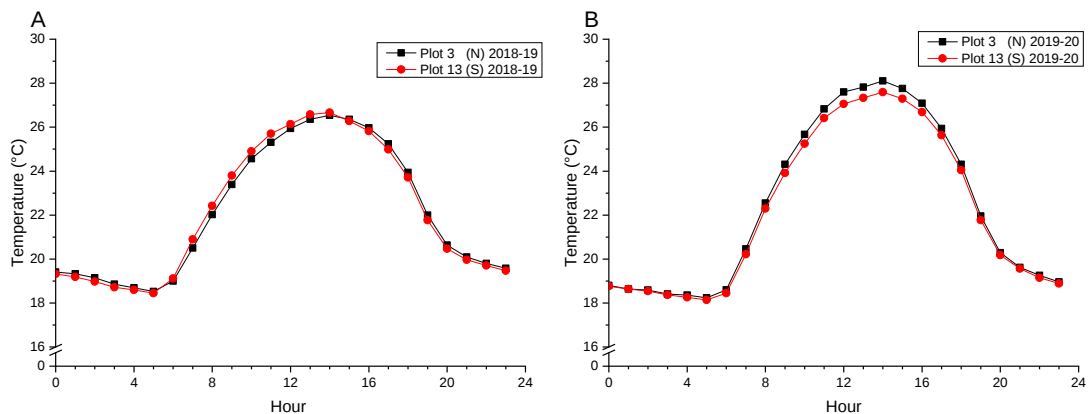


Figure 14. Average hourly thermal evolution of two sensors with different sun exposure located 100 m apart evaluated in the period between 21/2 to 1/3 for: A) 2018-19 growing season and B) 2019-20 growing season.

Figure 15 shows the detail of the thermal behavior of sensors 2, 5 and 7 compared to the meteorological station LB (Canelones) on February 15, 2020. The day presented the same heliophany (12 h) for both oceanic and estuary river zones. The graph shows a maximum temperature peak of the sensors between 12 and 14 LH. While the maximum peak of the LB station occurs at 17 LH. The maximum thermal difference between the sensors in the Atlantic zone and the LB station was recorded at 17 LH, registering between 4.1 and 7.2 °C less at the sensors. The largest difference between sensors occurred at 15 LH and was 3.6 °C in favor of plot 7 (low zone) as opposed to plot 2 (high zone).

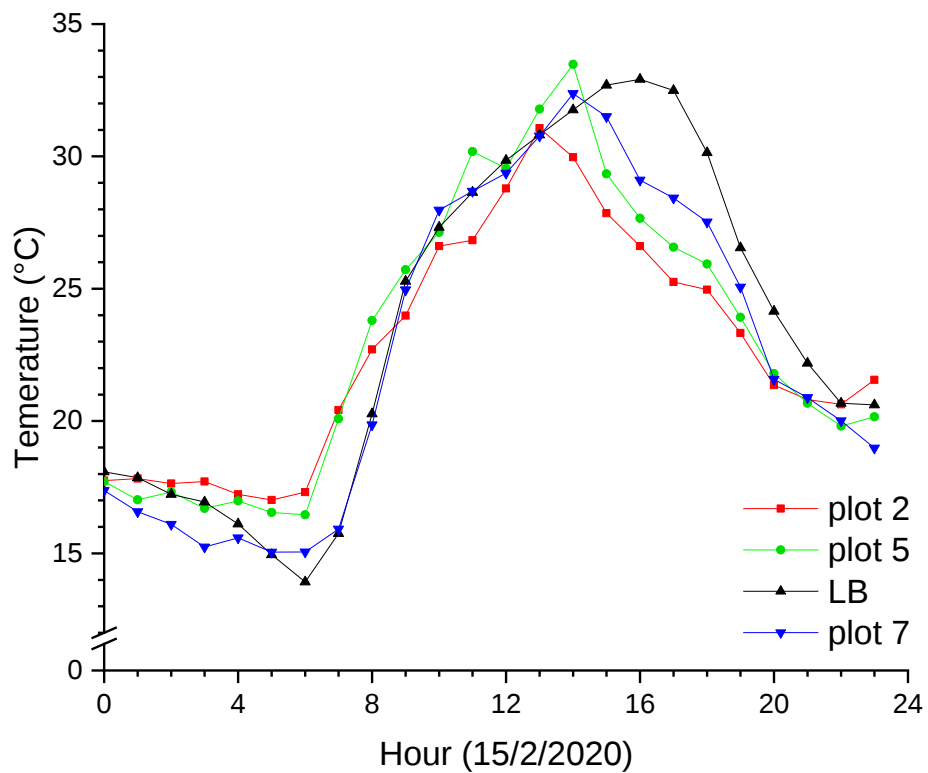


Figure 15. Thermal evolution of sensors 2, 5 and 7 in the Atlantic region compared to the LB weather station (Canelones) on 2/15/2020.

2.6 DISCUSSION

2.6.1 Comparative climatic analysis between the southern region and the Atlantic region of Uruguay

The climate stations located in the Atlantic zone (RO, HG and LG) do not differ statistically from the station located on the Río de la Plata (LB) for the CNI and HI indicators, which agrees with the classification made by Ferrer et al. (2007). In the vineyard, two stations separated by 1000 m (HG and LG) present two different classes of HI index (IH3 and IH4 respectively), mainly due to topography. According to Tonietto (1999) the IH3 (temperate) category allows late ripening of cultivars such as Cabernet Sauvignon, Ugni Blanc or Syrah, while the IH4 (warm temperate) category presents no heliothermal limitations for ripening.

On the other hand, TmaxS differs between regions, coinciding with the INIA-GRAS report (2020), which separates the Atlantic from the De la Plata river region according to maximum summer temperatures. The lower thermal intensity recorded during the berry ripening period in the Atlantic zone (-20 ND30) compared to southern zone is positive for obtaining oenological quality parameters such as aromas, acidity and color (Jones et al., 2010). To this is added the projection made by Keller (2010), where he describes a 2.5 °C increase in global temperature by 2050, which will lead to greater thermal pressure on the plants during the grape ripening period.

The differences in TA and TmaxS between the oceanic climate stations may be a consequence of the influence of land geography and wind exposure, since HG is located at 140 m above sea level on a ridge compared to 80 m above sea level for LG in the valley, which agrees with Dumas et al. (1997), who report altitude and wind exposure the main source of climatic variation in vineyards in Alsace (France).

At daily scale, the comparison between regions in relation to the average temperature, wind and relative humidity, records a daily evolution similar to those already reported by Manta et al. (2021), Fourment et al. (2017) and Berri et al. (2010) of sea breeze phenomenon. However, the daytime temperature varies up to 1.9°C at 16 LH between the two regions. According to Barry and Chorley (2010), the temperature maximum is

recorded after the solar radiation maximum occurred at zenith. The RO station avoids the thermal increase earlier, thanks to the increase in wind speed, where the LB station continued to gain temperature over the afternoon. The higher temperature increases during the day and mainly above 30 °C can generate loss of enological quality compounds and above 35 °C arrest of plant growth and photosynthesis (Sweetman et al. 2014, Mori et al. 2005, Bergqvist et al. 2001). the Atlantic region has an advantage of moderate temperatures over the southern zone for oenological purposes. This is relevant as less extreme thermal conditions, in a context of climate change and rising global temperatures, may be favorable also for future vineyard plantations.

The average wind intensity at its maximum average point in the RO season is below the 6 m/s threshold described by Vogel (2009), which can cause plant's physical damage, such as shoot breakage. Although during the day there are frequent moments where the speed exceeds 6 m/s, wind is a useful climatic agent in wine production to improve the microclimatic conditions of the canopy. Changes in microclimate could help to combat cryptogamic diseases such as *Botrytis cinerea* (Ferrer et al., 2009), one of the mean causes of grape yield and quality losses in Uruguay. However, the RO, LG and HG stations are associated with PP (82 mm more than LB per cycle), because the greater exposure to the Atlantic Ocean. Barry and Chorley (2010) point out that coastal areas have a higher occurrence of cloudiness, storms, and associated precipitation. This emerges as a negative element for grape production because it can affect the incidence and severity of cryptogamic diseases such as *Botrytis cinerea* rots during ripening. It is necessary to know which incidence is stronger to combat grape losses, wind or humidity and rainfall.

2.6.2 Spatial and temporal variability of temperature at the meso-scale

Within the region there is a marked temporal and spatial variability of temperature when temperature is analyzed by sensors. Temperature temporal variability (differences between years) could be due to the precipitation occurrence. The 2018-19 growing season reach 350 mm of precipitation higher than the 2019-20 growing season and the lowest values of HI, GDD, ND30, Tavg, TmaxS and thermal amplitude. The

situation agrees with Jones et al. (2010), where cloud circulation in maritime climates is one of the main reasons of interannual variations. Despite the meteorological differences between years, based on the prediction model of Parker et al. (2020), there are no conditions for the ripening of thermally demanding varieties such as Cabernet Sauvignon, which is questioned in the area by the winegrowers.

The plots' average thermal accumulation for both seasons is in a warmer category (HI₄) than the result obtained by Ferrer et al. (2007) of temperate (HI₃) for the region based on the 30-year average of weather stations. However, the 2018-19 growing season presents 6 sensor records corresponding to the HI₃ class, showing that spatial variability in a particular year placed plots at different thermal categories.

Cancela et al. (2016), report as temperate (HI₃) the origin area of Albariño variety, which could indicate that in Uruguay vintages with HI₄ classification may cause loss of acidity, mainly due to malic acid metabolism.

For minimum temperatures (measured through the CNI), the record coincides with the report of Ferrer et al. (2007) and Cancela et al. (2016) of 16 °C. The similarity of the climatic conditions of the Uruguayan Atlantic coast with the area of origin of Albariño, positions the white variety in a correct nocturnal thermal condition to be able to express its oenological potential, mainly fruity and floral aromas given by monoterpenes (Ji and Dami, 2008).

Temporal and spatial variability of maximum temperatures are greater in relation to that obtained with minimum temperatures. This is explained by Manta et al. (2021), who cite the tempering effect of the sea breeze on the Uruguayan coast, which avoids thermal situations above 33 °C. This aspect is favorable in a context of climate change and increased ambient temperature, since winegrowing establishments will be able to find cool places that allow them to obtain aromas and acidity in the grapes (Gutiérrez-Gamboa et al., 2021). In extreme thermal conditions, above 35 °C, the grapevine reduces photosynthesis, growth, and sugar accumulation (Bergqvist et al. 2001, Jackson and Lombard 1993).

Precipitation and cloudiness situations, such as those of the 2018-19 growing season, cause less thermal spatial variability. However, when standardizing the thermal indicators values, spatial trends are found which are associated by plots' geographic conditions.

Vineyards geography has a strong relationship with the climate spatial variability. Plots have a marked topography, with maximum slopes that reach 11.6% slope. This is a differentiating feature of this region compared to the traditional winegrowing region (in southern Uruguay), which presents slopes between 3 to 5% (Silva et al., 2018). Plots' altitude (72 to 140 meters above sea level) can generate variations in the openness of the landscape, wind interception and solar radiation interception (Dumas et al., 1997). Altitude turns out to be the main agent generating the spatial variability of temperature in the plots under study.

One of the most affected thermal indicators by topography is TA. TA is the main indicator altered by altitude, where low altitude zones present a higher value compared to zones above 110 masl and is due to two factors: 1) the reduction of maximum thermal events during the day in high altitude zones (ND30 and TmaxS, Figure 12). This reduction is due to greater exposure to air currents, mainly sea breezes and Ocean winds. 2) the lower zones accumulate more fresh air during the night, which reduces the minimum temperature and therefore increases the thermal amplitude. This phenomenon can be observed in the standardized CNI values and agrees with Bonnefoy et al. (2013) in Coteaux du Layon, France, and Bonnardot et al. (2012) for the coastal conditions of the Stellenboch District, South Africa. Both effects impact on the grapevine at different ways, as cool days such as those obtained at high altitudes favor the conservation of grapes malic acid, while warm nights can be counterproductive due to increased nocturnal respiration (Gaiotti et al., 2018). A similar and opposite situation, occurs in plots situated in lowland areas where cool nights are positive to avoid losses due to nocturnal respiration and favorable synthesis for grape anthocyanin accumulation (Mori et al., 2005); however, during the day, high temperatures can degrade grape malic acid (Sweetman et al., 2014) and aromas (González-Barreiro et al., 2015).

In addition to altitude, slope plays a significant role in terms of thermal accumulation (GDD), with low areas accumulating cool air during the night to reduce the minimum temperature and thus heat accumulation. There are also plots in high areas with high slope (plots 2 and 16) that accumulate values below the standardized mean of GDD due to lower values of maximum temperature (during the day). Therefore, it is necessary to study all the geographical factors together to understand the complexity of the terrain and its influence on the local climate.

According to Jones and Hellman (2003), northern exposures in the southern hemisphere are those that accumulate more radiation and therefore have higher temperatures. In this study, plot exposure does not seem to be associated with temperature, possibly because the effect of exposure was masked by other factors such as slope, altitude and proximity to native forests. Only when comparing two contiguous plots with different exposure (plots 3; North and 13; South), differences were noted in the warm year (2019-2020). This indicates that the greatest spatial variability between plots occurs when temperatures are more extreme (warm vs. temperate year).

When analyzing the climatic variables and plots' geographic characteristics, it is observed that altitude is the main element conditioning the temperature of the plots, followed by slope and in third place their exposure. Plots at higher altitudes (plots 1, 2, 3, 6, 8, 11, 13, 14 and 16) are the coolest during the morning and afternoon due to the greater exposure to winds from the ocean. The sensors with the highest measured daytime temperatures (green and blue group) can be explained by the lower wind exposure. The plots in the blue group, however, present little slope, which generates cooler conditions early in the morning due to limited fresh air drainage.

At a fine scale, on an extreme daily summer temperature in the middle of the grape ripening period (February 15, 2020) plots 2, 5 and 7 record cooler temperatures during the afternoon compared to LB. The entrance of the sea breeze marks a difference of up to -7.2 °C, which was able to refresh the vineyards during the afternoon, a period of higher atmospheric demand and heat stress. While the LB station spent 6 hours with values above 30 °C, the sensors in the Atlantic zone only spent between 1 and 3 hours.

This thermal conditions are important because above 30 °C, grape anthocyanin accumulation slows down, since degradation is greater than synthesis (Spayd et al. 2002, Mori et al. 2005), grape malic acid is degraded at a higher rate (Sweetman et al., 2014) and fewer monoterpene aromas are synthesized (Blancquaert et al. 2019, Ji and Dami 2008). Added to this condition is that sun-exposed clusters can increase berry temperature up to 10 °C higher than ambient temperature, increasing these berry composition differences (Bergqvist et al., 2001).

Geographic configuration plays a primordial role in the climate crop conditions and, in turn, the conditions of the year can restrict or increase this variability.

2.7 BIBLIOGRAPHY

- Barry, R., & Chorley, R. (2010). Atmosphere, weather and climate. In: Routledge (Ed.), *Atmospheric Environment* (1967) (Routledge). New York: Routledge. doi: 10.1016/0004-6981(89)90205-9
- Bergqvist, J., Dokoozlian, A., & Ebisuda N. (2001). Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin Valley of California. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(1), 1-7.
- Berri, G. J., Sraibman, L., Tanco, R. A., & Bertossa, G. (2010). Low-level wind field climatology over the La Plata River region obtained with a mesoscale atmospheric boundary layer model forced with local weather observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(6), 1293-1305. doi: 10.1175/2010JAMC2370.1
- Blanco-Ward, D., García Queijeiro, J. M., & Jones, G. V. (2007). Spatial climate variability and viticulture in the Miño River Valley of Spain. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 46(2), 63-70.
- Blancquaert, E. H., Oberholster, A., Ricardo-da-Silva, J. M., & Deloire, A. J. (2019). Effects of abiotic factors on phenolic compounds in the grape berry - A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 40(1), 1-14. doi: 10.21548/40-

- Bois, B., Leeuwen, C. V. A. N., Pieri, P., Gaudillere, J., Saur, E., Joly, D., Wald, L., & Grimal, D. (2008). Viticultural agroclimatic cartography and zoning at mesoscale level using terrain information, remotely sensed data and weather station measurements. Case study of Bordeaux winegrowing area. *VII International terroir congress*, 455-462.
- Bonnardot, V., Carey, V., Madelin, M., Cautenet, S., Coetzee, Z., & Quénot, H. (2012). Spatial variability of night temperatures at a fine scale over the Stellenbosch wine district, South Africa. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 46(1), 1-13.
- Bonnardot, V., Planchon, O., Carey, V., & Cautenet, S. (2002). Diurnal Wind, Relative Humidity and Temperature Variation in the Stellenbosch-Groot Drakenstein Wine-Growing Area. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 23(2), 62-71.
- Bonnardot, V., Planchon, O., & Cautenet, S. (2005). Sea breeze development under an offshore synoptic wind in the South-Western Cape and implications for the Stellenbosch wine-producing area. *Theoretical and Applied Climatology*, 81(3-4), 203-218. doi: 10.1007/s00704-004-0087-y
- Bonnefoy, C., Quenol, H., Bonnardot, V., Barbeau, G., Madelin, M., Planchon, O., & Neethling, E. (2013). Temporal and spatial analyses of temperature in a French wine-producing area: The Loire Valley. *International Journal of Climatology*, 33(8), 1849-1862. doi: 10.1002/joc.3552
- Cancela, J. J., Trigo-Córdoba, E., Martínez, E. M., Rey, B. J., Bouzas-Cid, Y., Fandiño, M., & Mirás-Avalos, J. M. (2016). Effects of climate variability on irrigation scheduling in white varieties of *Vitis vinifera* (L.) of NW Spain. *Agricultural Water Management*, 170(2016), 99-109. doi: 10.1016/j.agwat.2016.01.004
- Carey, V. A. (2001). Spatial characterisation of natural terroir units for viticulture in the Bottelaryberg-Simonsberg-Helderberg winegrowing area. Master thesis on

Master of Agricultural and Forestry Sciences. University of Stellenbosch. South Africa. 132 p.

Carey, V. A., Archer, E., Barbeau, G., & Saayman, D. (2008). Viticultural terroirs in Stellenbosch, South Africa. II. The interaction of Cabernet-Sauvignon and Sauvignon Blanc with environment. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 42(4), 185-201.

Chuine, I., Cour, P., & Rousseau, D. D. (1999). Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: Implications for tree phenology modelling. *Plant, Cell and Environment*, 22(1), 1-13. doi: 10.1046/j.1365-3040.1999.00395.x

Deloire, A., Vaudour, E., Care, V., Bonnardot, V., & Van Leeuwen, C. (2005). Grapevine responses to terroir: a global approach. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 39(4), 149-162.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2011). *InfoStat*. Universidad Nacional de Córdoba.

Dougherty, P. H. (2012). The Geography of Wine. In: The Geography of Wine. doi: 10.1007/978-94-007-0464-0

Dumas, V., Lebon, E., & Morlat, R. (1997). Differentiation of local climate in the Alsatian vineyard. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 31(1), 1-9. doi: 10.20870/oeno-one.1997.31.1.1090

Falcão, L. D., Burin, V. M., Sidinei Chaves, E., Vieira, H. J., Brighenti, E., Rosier, J. P., & Bordignon-Luiz, M. T. (2010). Vineyard altitude and mesoclimate influences on the phenology and maturation of Cabernet-Sauvignon grapes from Santa Catarina State. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 44(3), 135-150. doi: 10.20870/oeno-one.2010.44.3.1470

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 Delimitation and description of grape-

- growing regions of Uruguay. *Agrociencia*, 6, 47-56.
- Ferrer, M., Camussi, G., González-Neves, G., Echeverrya, G. & Montaña, A. (2009). Condiciones predisponentes para las podredumbres de racimo: clima, variedad y técnicas de cultivo. *Enología*. 4, 1-10.
- Fourment, M., Ferrer, M., González-Neves, G., Barbeau, G., Bonnardot, V., & Quénot, H. (2017). Tannat grape composition responses to spatial variability of temperature in an Uruguay's coastal wine region. *International Journal of Biometeorology*, 61(9), 1617-1628. doi: 10.1007/s00484-017-1340-2
- Gaiotti, F., Pastore, C., Filippetti, I., Lovat, L., Belfiore, N., & Tomasi, D. (2018). Low night temperature at veraison enhances the accumulation of anthocyanins in Corvina grapes (*Vitis Vinifera* L.). *Scientific Reports*, 8(1), 1-13. doi: 10.1038/s41598-018-26921-4
- González-Barreiro, C., Rial-Otero, R., Cancho-Grande, B., & Simal-Gándara, J. (2015). Wine Aroma Compounds in Grapes: A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(2), 202-218. doi: 10.1080/10408398.2011.650336
- Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., & Martínez de Toda, F. (2021). Strategies in vineyard establishment to face global warming in viticulture: a mini review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(4), 1261-1269. doi: 10.1002/jsfa.10813
- Hall, A., & Jones, G. V. (2010). Spatial analysis of climate in winegrape-growing regions in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(3), 389-404. doi: 10.1111/j.1755-0238.2010.00100.x
- Haselgrove, L., Botting, D., Van Heeswijck, R., Høj, P. B., Dry, P. R., Ford, C., & Iland, P. G. (2000). Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(2), 141-149. doi: 10.1111/j.1755-0238.2000.tb00173.x

- Huglin, P. (1978). Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Proceeding Symposium International sur l'ecologie de la Vigne. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire.*
- Hunter, J. J., & Bonnardot, V. (2011). Suitability of some climatic parameters for grapevine cultivation in South Africa, with focus on key physiological processes. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 32(1), 137-154.
- IDEuy. (2020). Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay. Recovered from https://visualizador.ide.uy/ideuy/core/load_public_project/ideuy/
- INIA-GRAS. (2020). Caracterización Agroclimática. Recovered from <http://www.inia.uy/gras/Clima/Caracterización-agroclimática>
- INUMET. (2020). Clasificación climática | Inumet. Recovered from <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/clasificacion-climatica>
- Ji, T., & Dami, I. E. (2008). Characterization of free flavor compounds in traminette grape and their relationship to vineyard training system and location. *Journal of Food Science*, 73(4), 262-267. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00736.x
- Jones, G. V., Duff, A. A., Hall, A., & Myers, J. W. (2010). Supplemental Data for: Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(3), 313-326.
- Jones, G. V., & Hellman, E. (2003). Site Assessment. In Oregon viticulture (vol 7). Oregon. 30 p
- Keller, M. (2010). Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(SUPPL. 1), 56-69. doi: 10.1111/j.1755-0238.2009.00077.x
- Lebon, E., Dumas, V., Mettauier, H., & Morlat, R. (1993). Caractérisation intégrée du vignoble alsacien: aspects méthodologiques et application à l'étude des composantes naturelles des principaux terroirs. *Journal International des*

Sciences de la Vigne et du Vin, 27(4), 235-253.

Manta, G., Barreiro, M., & Renom, M. (2021). Climatología de la brisa marina en Uruguay. *Meteorologica*, 46, 12-25.

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. doi: 10.1016/j.scienta.2005.01.032

Neethling, E., Barbeau, G., Coulon-Leroy, C., & Quénot, H. (2019). Spatial complexity and temporal dynamics in viticulture: A review of climate-driven scales. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276-277(May), 107618. doi: 10.1016/j.agrformet.2019.107618

Parker, A. K., García de Cortázar-Atauri, I., Génys, L., Spring, J. L., Destrac, A., Schultz, H., Molitor, D., Lacombe, T., Graça, A., Monamy, C., Stoll, M., Storchi, P., Trought, M. C. T., Hofmann, R. W., & Van Leeuwen, C. (2020). Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars. *Agricultural and Forest Meteorology*, 285-286(September 2019), 107902. doi: 10.1016/j.agrformet.2020.107902

Planchon, O., Dubreuil, V., & Gouery, P. (2006). A method of identifying and locating sea-breeze fronts in north-eastern Brazil by remote sensing. *Meteorological Applications*, 13(3), 225-234. doi: 10.1017/S1350482706002283

QGIS Development Team. (2009). *QGIS Geographic Information System*. Recovered from <http://qgis.osgeo.org>

Schultz, H. R., & Jones, G. V. (2010). Climate induced historic and future changes in viticulture. *Journal of Wine Research*, 21(2), 137-145. doi: 10.1080/09571264.2010.530098

Silva, A., Docampo, R., Camejo, C., & Barboza, C. (2018). Inventario de los suelos bajo viña del Uruguay. In: Revista INIA. Montevideo. 166p. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004

Spayd, S. E., Scagel, C. F., Tarara, J. M., & Lee, J. (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.
- Sweetman, C., Sadras, V. O., Hancock, R. D., Soole, K. L., & Ford, C. M. (2014). Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *Journal of Experimental Botany*, 65(20), 5975-5988. doi: 10.1093/jxb/eru343
- Tonietto, J. (1999). Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mesoclimat sur la typicité de la Syrah et du muscat de Hambourg dans le sud de la France. Doctoral Thesis in Evolutionary Biology and Ecology, Montpellier, École Supérieure Agronomique de Montpellier. 236 p.
- 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
- Van Leeuwen, C., Garnier, C., Agut, C., Baculat, B., Barbeau, G., & Besnard, E. (2008). Heat requirements for grapevine varieties is essential information to adapt plant material in a changing climate. *VII Congrès International des terroirs viticoles*, 6.
- Vogel, S. (2009). Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape - Vogel - 2009 - New Phytologist - Wiley Online Library. *New Phytologist*, 183, 13-26.
- Winkler, A. J., Cook, J. A., Kliewer, W. M., & Lider, L. A. (1974). *General Viticulture*. California: University of California, 710 p.

Capítulo 3: CARACTERIZACION DE CV TANNAT Y CV ALBARIÑO EN LA REGIÓN ATLÁNTICA DEL URUGUAY

3.1 RESUMEN

La planta de vid responde estrechamente a las condiciones climáticas de un *terroir*. La temperatura es el componente climático con mayor impacto en el desarrollo de la planta y la baya. La temperatura influye en el desarrollo de la planta a través del pasaje de un estado fenológico a otro y condiciona el metabolismo. En climas cálidos las uvas acumulan mayor cantidad de sólidos solubles, tienen baja acidez y poca intensidad aromática, en contraposición a lo que ocurre en climas templados-frescos. El objetivo de este capítulo es caracterizar el desempeño agronómico y potencial enológico de los cultivares de importancia nacional Tannat (tinto) y Albariño (blanco) en la nueva región atlántica y cómo se comportan en relación a las condiciones meso-climáticas. Para ello se seleccionaron 9 parcelas de Tannat y 10 parcelas de Albariño en diferentes situaciones topográficas. En las plantas se midieron variables de respuesta del cultivo tales como la fenología, el estatus hídrico, el desarrollo del follaje, los componentes del rendimiento y la evolución de los metabolitos primarios y secundarios de uva durante el período de maduración. El cultivar Tannat presentó una estrecha relación con las condiciones del año (variabilidad temporal) y con las condiciones de las parcelas (variabilidad espacial). La variabilidad espacial de la temperatura en relación a la altitud de las parcelas, repercutió en la fertilidad de yemas, el tamaño de baya, la acumulación de sólidos solubles, la concentración y tipo de antocianos y la degradación del ácido málico. Albariño mostró respuesta al efecto año y al efecto parcela, donde la altitud fue el principal factor que explicó la variabilidad espacial. La temperatura condicionada por la altitud afectó a la fertilidad de yemas, al peso de baya y a la degradación de acidez. Conocer en detalle la topografía en relación al clima local y como interacciona con el cultivo de la vid, permite plantear estrategias agronómicas que potencian la tipicidad que imprime el *terroir*, hacer usos más eficientes de los recursos y adelantarse a problemas futuros dados por el cambio climático.

Palabras clave: Albariño, Tannat, temperatura, topografía

3.2 SUMMARY

The grapevine plant responds closely to the climatic conditions of a terroir. Temperature is the climatic component with the greatest impact on plant and berry development. Temperature influences plant development through the passage from one phenological stage to another and conditions metabolism. In warm climates, grapes accumulate a greater amount of soluble solids, have low acidity and low aromatic intensity, in contrast to what occurs in cool temperate climates. The objective of this chapter is to characterize the agronomic performance and enological potential of the nationally important cultivars Tannat (red) and Albariño (white) in the new Atlantic region and how they behave in relation to the meso-climatic conditions. For this purpose, 9 plots of Tannat and 10 plots of Albariño were selected in different topographic situations. Plant response variables such as phenology, water status, foliage development, yield components and the evolution of primary and secondary grape metabolites during the ripening period were measured in the plants. The Tannat cultivar presented a close relationship with the conditions of the year (temporal variability) and with the conditions of the plots (spatial variability). The spatial variability of temperature in relation to plot altitude affected bud fertility, berry size, soluble solids accumulation, anthocyanin concentration and type, and malic acid degradation. Albariño showed response to the year effect and plot effect, where altitude was the main factor explaining spatial variability. Temperature conditioned by altitude affected bud fertility, berry weight and acidity degradation. Knowing in detail the topography in relation to the local climate and how it interacts with vine cultivation, allows us to propose agronomic strategies that enhance the typicity of the terroir, make more efficient use of resources and anticipate future problems caused by climate change.

Key words: Albariño, Tannat, temperature, topography

3.3 INTRODUCCIÓN

3.3.1 Interacción del clima y con la vid

La vid (*Vitis vinífera* L.) es originaria de Eurasia (Keller, 2015). Sin embargo, la viticultura se ha expandido a lo largo de todo el mundo, por un proceso continuo de domesticación y selección. La distribución del cultivo según sus requerimientos térmicos y de luz fue definido como la Línea Wagner, correspondiente a las zonas entre las isothermas anuales de 10 °C y 20 °C (Jackson, 2008), lo que ha llevado a la existencia de una amplia gama de variedades evolucionadas y/o desarrolladas para desempeñarse en diferentes ambientes.

La interacción de la vid con el clima es uno de los factores más variable y ampliamente estudiada a lo largo del mundo. Dentro del clima, la temperatura resulta ser el componente con mayor impacto en el desarrollo de la planta y la baya (Sweetman et al. 2014, Mori et al. 2005, Jackson y Lombard 1993). La temperatura condiciona el desarrollo de la planta y el pasaje de un estado fenológico a otro, generando en climas cálidos acumulación de azúcares, disminución de los ácidos y aromas, ocurriendo lo inverso en climas templados-frescos (Santos et al. 2020).

Para comprender el comportamiento de la vid se han descrito umbrales y rangos térmicos para los diferentes procesos fisiológicos. La temperatura umbral de crecimiento es citada por Winkler et al. (1974) en 10 °C, pero desde el siglo XIX ya se conocía que la vid comenzaba a brotar por encima de este valor (Dougherty, 2012). En cuanto a la fotosíntesis, el rango óptimo se describe entre 25 y 30 °C observando una detención del crecimiento y de la acumulación de azúcares con valores por encima de 35 °C (Torregrosa et al. 2017, Bergqvist et al. 2001, Jackson y Lombard, 1993). Por otra parte, Torregrosa et al. (2017) y Gaiotti et al. (2018) mencionan la importancia de las temperaturas nocturnas, donde se da un aumento exponencial de la respiración entre 15 y 30 °C.

Otro proceso fisiológico como la fertilidad de yemas está condicionado por el ambiente. Varios autores citan la relación entre la radiación solar y la temperatura en la inducción y diferenciación de yemas reproductivas en la vid. Altos valores de ambos

factores en el periodo de floración, favorecen la inducción de tejido reproductivo para la próxima temporada (Carmo Vasconcelos et al. 2009, Sánchez y Dokoozlian 2005).

En cuanto a la influencia del clima en los metabolitos de la uva, el óptimo de acumulación de antocianos es descrito por Spayd et al. (2002) y Mori et al. (2005) en 30 °C, durante el periodo de maduración de la baya y observándose una inhibición de los mismos a temperaturas mayores de esta. Mori et al. (2005) describen la importancia de temperaturas frescas en la noche durante la maduración de la baya, para la acumulación de antocianos, tomando como referencia el valor de 15 °C. La acidez, principalmente debido al ácido málico, es un componente de calidad estrechamente relacionado con la temperatura ambiente el cual se acumula antes de envero cuando las temperaturas están entre 20 y 25 °C (Blancquaert et al., 2019). A elevados valores térmicos luego del estado de envero, inducen a la oxidación de los ácidos por parte de la mitocondria para la obtención de energía (Brandt et al. 2019; Sweetman et al. 2014). Baciocco et al. (2014) encuentran que la temperatura máxima durante el periodo de crecimiento es un discriminador importante entre las cosechas buenas y malas para vinos tintos y blancos.

A macro-escala, la temperatura y por ende la acumulación térmica está condicionada por la cercanía al trópico, reduciéndose a medida que se avanza hacia los polos. Sin embargo, otros factores a escala fina pueden hacer variar el resultado térmico. Como fue mencionado en el artículo 1, la topografía y la cercanía a grandes masas de agua pueden repercutir en la configuración ambiental. Becker (1977) citado por Carey (2001) menciona la importancia del mesoclima en climas frescos, asociado al paisaje, donde el autor encuentra que afecta significativamente en la síntesis y degradación de ácido málico, formación de aminoácidos y contenido de azúcar en las bayas. En cuanto a la acumulación de antocianos en la variedad Touringa Nacional, Mateus et al. (2002) encuentran que entre 300 y 350 msnm las plantas obtienen significativamente más antocianos que a altitudes entre 100 y 150 msnm.

También factores asociados al viñedo como la orientación de la fila, estudiado por Hunter et al. (2016), pueden modificar la respuesta de la planta al clima, como la interceptación a la radiación solar. Por otra parte, bayas que se encuentren expuestas

directamente a la luz solar, pueden aumentar hasta 17 °C su temperatura sobre el valor ambiente (Spayd et al. 2002, Bergqvist et al. 2001), principalmente debido a la ausencia de estomas que le permitan regular su temperatura.

El viento puede tomar un rol en el desarrollo a escala fina. Dumas et al. (1997), observan de qué manera la influencia de los viñedos a los vientos condiciona el resultado térmico de los mismos. Por su parte Campbell-Clause (1998), describen que velocidades sobre 4 m/s condicionan la apertura estomática afectando la fotosíntesis.

Por otra parte, es fundamental discriminar en qué momento del ciclo de desarrollo del cultivo se dan las temperaturas, ya que la susceptibilidad de los procesos fisiológicos al clima difiere según el estado fenológico que se encuentra la planta (Jackson y Lombard, 1993). De esta manera, el estudio del meso-clima con frecuencia semanal, diaria y/u horaria, permite ganar detalle de la interacción planta-clima a escala fina. En el cuadro 1 se muestra un resumen bibliográfico de los diferentes indicadores térmicos asociados al cultivo de la vid y cómo interaccionan con la temperatura.

La respuesta de *Vitis vinífera* L. al clima, también tiene un fuerte componente varietal. Van Leeuwen et al. (2008) y posteriormente Parker et al. (2020) desarrollan un trabajo donde describen los requerimientos térmicos de diferentes variedades que oscilan entre los 1200 a 2000 GDD. Más en detalle, Carey et al. (2008) en su trabajo estudiando Sauvignon Blanc y Cabernet Sauvignon en interacción con el meso-clima, encuentran que las variedades tienen una sensibilidad diferencial.

A raíz del cambio climático, está cambiando la componente térmica de las zonas vitivinícolas tradicionales, principalmente aumentando los valores térmicos máximos y provocando mayores eventos de precipitaciones (Keller 2010, Schultz y Jones 2010). Keller (2010) estima que para el 2050 la temperatura ambiente aumentará 2,5 °C lo que se traducirá en un aumento de 535 GDD en el periodo de desarrollo del cultivo. El aumento térmico se traducirá en pérdidas de compuestos de calidad enológica si la temperatura supera el rango óptimo de cada proceso.

Keller (2010), menciona que lugares que varían poco entre años son favorables para obtener la misma calidad de la uva y así otorgar un producto uniforme a clientes. Sin

embargo, las condiciones costeras generan elevada variabilidad debido a la presencia de nubosidad y tormentas asociadas (Jones et al., 2010).

Por lo cual, resulta importante conocer en detalle el comportamiento del *terroir*, para maximizar el resultado productivo, anticiparse a problemas venideros y conseguir producción uniforme a lo largo de los años.

Cuadro 1. Interacción entre la temperatura y la respuesta metabólica de la uva.

Variable	Período	Efecto	Condición	Referencia
Solidos solubles	Brotación-cosecha	+	16 – 30 °C	Jackson y Lombard, 1993
		-	>30 °C <9 °C	
Acidez	Envero-cosecha	+	Temperatura nocturna <15°C	Jackson y Lombard, 1993
		-	Temperatura nocturna >15 °C	
Ácido málico	Pre-envero	+	20-25 °C	Lakso y Kliewer, 1975
Ácido málico	Envero-cosecha	-	Temperatura > 20 °C	Brandt et al., 2019
pH	Envero-cosecha	+	temperatura nocturna <15 °C	Jackson y Lombard, 1993
		-	temperaturas nocturnas >15 °C	
Antocianos	Envero-cosecha	+	Temperatura cercana a 30 °C	Spayd et al., 2002
		-	Temperatura superior a 35 °C	
Antocianos	Envero-cosecha	+	Temperaturas nocturnas cercanas a 15 °C	Mori et al., 2005
Taninos	Pre-envero	-	Temperaturas frescas	Downey et al., 2003

3.3.2 El cultivo de cv. Tannat

Tannat es la variedad más plantada en Uruguay con 1.632 ha, siendo un 27,3 % del total nacional (INAVI, 2019). La misma, originaria de los Pirineos Atlánticos, y desde la década de los 70s, Uruguay produce vino de *Vitis vinífera L.* cv. Tannat, siendo actualmente el cépage insignia del país. A nivel agronómico y enológico, es la variedad más estudiada a nivel nacional (Ferrer et al. 2020, Ferrer et al. 2018, Ferrer et al. 2011, Fourment et al. 2017, Carrau et al. 2012, Carrau et al. 2011, Coniberti et al. 2012,

González-Neves et al. 2012, González-Neves et al. 2004a, González-Neves 2004b, Echeverría et al. 2011). El interés por esta variedad responde a la buena aclimatación a las condiciones ambientales de Uruguay, en cuanto a su tipicidad y su gran potencial enológico debido al alto nivel de antocianos, taninos y acidez (González-Neves et al., 2010).

Cuadro 2. Valores de parámetros agronómicos y potencial enológico de Tannat reportados en trabajos científicos para viñedos ubicados en el sur de Uruguay.

Parámetro	Valor reportado
Peso de baya (g)	1,76 ³
Peso hollejo (g / baya)	0.165 ³
Peso semilla (g / baya)	0.088 ³
Peso hollejo (g / baya)	1.51 ³
Sólidos solubles (g / l)	232 ³
	220 ³
Sólidos solubles (g / g baya)	0.21 ³
Sólidos solubles (g / baya)	0.37 ³
Acidez total (g sulfúrico /l)	4,1 ⁴
pH	3.36 ¹
	3.26 ³
Ácido málico (g/l)	7.3 ⁴
Ácido tartárico (g/l)	5,1 ⁴
Antocianos potenciales a pH1 (ApH 1) (mg / l)	2315 ³
	1801 ⁴
Antocianos extraíbles a pH 3,2 (ApH 3,2) (mg / l)	1137 ¹
	829 ⁴
Índice de polifenoles totales (IPT)	74.2 ¹
	52.7 ⁴
%EA	49.6 ¹
Rendimiento (kg/m ²)	2.23 ⁴
Peso racimo (g)	220 ²
Peso poda (kg/m ²)	0.173 ⁴
Superficie foliar expuesta potencial (SFEp) (m ² /m ²)	0.63 ⁴
Índice de Ravaz	6.8 ⁴

¹ González-Neves et al. (2010) : promedio de 4 vendimias (2001, 02, 03 y 04).

² Ferrer et al. (2011): promedio 2 vendimias (2008 y 09)

³ Ferrer et al. (2014): promedio de 4 vendimias (2001, 02, 03 y 04)

⁴ Ferrer et al, (2020a): promedio de 3 vendimias (2015, 16 y 17)

A lo largo de los años, los estudios nacionales sobre Tannat se han centrado en las zonas tradicionales vitícolas del país (Canelones, Salto y Colonia) y no se han

reportado trabajos del comportamiento de Tannat ni de otra variedad en la zona emergente costera atlántica de Uruguay. Valores promedio obtenidos por Tannat en la zona sur del país (zona tradicional) reportados en artículos científicos se exponen en el cuadro 2.

3.3.3 El cultivo de cv. Albariño

Albariño es una variedad de uva blanca introducida en la década de los 2000 en Uruguay desde Galicia, España, de donde es originaria. Su cultivo en Uruguay ha aumentado 157% ha en los últimos 10 años. La misma, es utilizada en Uruguay para la elaboración de vinos de calidad preferente (VCP) monovarietales.

Cuadro 3. Valores parámetros agronómicos y potencial enológico de Albariño reportados en trabajos científicos en Galicia, España.

Parámetro *	Valor reportado
Peso de baya (g)	1,35 ¹
Sólidos solubles (g / l)	220 ²
Acidez total (g sulfúrico/l)	6,52 ²
pH	3,07 ²
Ácido tartárico (g/)	6,6 ²
	3,5 ³
Ácido málico (g/l)	5,8 ²
	5,2 ¹
Índice de polifenoles totales (IPT)	15 ³
Rendimiento (kg/m ²)	1,05 ²
No. racimos / m ²	11 ²
Peso racimo (g)	92 ²
Peso poda (kg/m ²)	0,538 ²
Índice de Ravaz	2,4 ²

¹Diéguez et al. (2003): Promedio de 4 vendimias (1996, 97, 98 y 99).

²Cancela et al. (2016): promedio de 3 vendimias (2012, 13 y 14)

³Vilanova et al. (2019): promedio de 2 vendimias (2014 y 15)

Albariño es mencionada en su lugar de origen como una variedad que produce vinos jóvenes, equilibrados y frescos (debido a un contenido ácido moderado) y aromas con notas frutales, florales y vegetales (Vilanova y Vilariño 2006, Zamuz et al. 2006,

Diéguez et al. 2003). Otros trabajos internacionales han descrito valores fisiológicos y de calidad de baya para Albariño, los cuales se enumeran en el cuadro 3. Los mismos sirven de referencia, ya que a nivel nacional se carece de estudios científicos que describan el comportamiento varietal.

3.3.4 Objetivo del capítulo

El objetivo de este capítulo es describir y caracterizar el comportamiento del cv. Tannat y del cv. Albariño en la región atlántica de Uruguay y como se desempeñan ambas variedades en interacción con el meso-clima a nivel espacial y temporal.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Sitio de estudio

En el viñedo bajo estudio, fueron seleccionadas 19 parcelas, de las cuales 9 corresponden a la variedad tinta Tannat y 10 a la variedad blanca albariño (figura 1). Las parcelas fueron escogidas contemplando la mayor cantidad de combinaciones topográficas presentes (altura, exposición, pendiente) (cuadro 4). El criterio de selección fue contemplar la diversidad topográfica en un número reducido de parcelas.

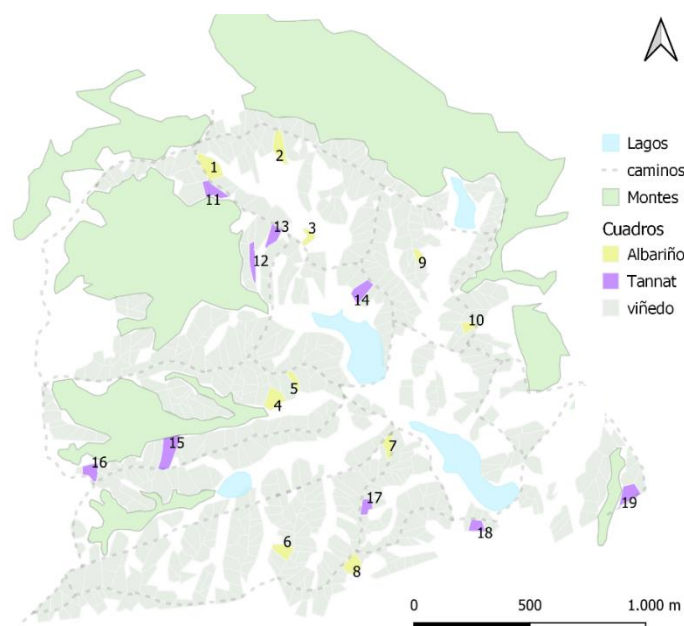


Figura 1. Disposición geográfica de las parcelas de Albariño y Tannat seleccionados.

Cuadro 4. Descripción topográfica de la ubicación de las parcelas con sensores de temperatura TinyTag Data Loggers® y la disposición de la fila de las parcelas de Tannat y Albariño.

Parcela / sensor	Cultivar	Altitud categoría*	Pendiente categoría**	Orientación fila
1	Albariño	Alto	3	N-S
2	Albariño	Alto	3	E-O
3	Albariño	Medio	3	SE-NO
4	Albariño	Bajo	3	N-S
5	Albariño	Bajo	3	SO-NE
6	Albariño	Medio	2	E-O
7	Albariño	Bajo	1	E-O
8	Albariño	Medio	1	E-O
9	Albariño	Medio	2	SO-NO
10	Albariño	Bajo	1	SO-NO
11	Tannat	Alto	2	N-S
12	Tannat	Medio	3	SO-NO
13	Tannat	Alto	2	SE-NO
14	Tannat	Medio	2	N-S
15	Tannat	Medio	2	E-O
16	Tannat	Alto	3	E-O
17	Tannat	Bajo	1	N-S
18	Tannat	Bajo	1	E-O
19	Tannat	Bajo	1	N-S

*1=72-95, 2=96-117, 3=118-140 msnm. ** 1=0-5.8, 2=5.9-8.7, 3=8.8-11.6 (°)

El tipo de suelo corresponde al grupo CONEAT 2.11a. Es descrito por MGAP (2015) como Luvisol Úmbrico Típico (USDA= Hapludalf), presentando Inceptisoles como suelos dominantes y Litosoles como suelos asociados. El relieve se describe como sierras rocosas con paisaje ondulado fuerte (pendientes de hasta 25%), presentando rocosidad y pedregosidad del 1 al 10% de la superficie y con drenaje rápido. El espesor promedio del perfil son 39 cm y el agua potencialmente disponible que puede brindar el suelo son 57 mm.

Las plantas seleccionadas se encuentran bajo el marco de plantación de 2 metros entre hileras y 1 m entre plantas, a excepción de la parcela 4 de Albariño la cual se encuentra

a 4 x 1m. La fecha de implantación fue entre el 2008 y el 2009, la cual al 2018-19 se encontraban en plena producción. El sistema de conducción es en espaldera alta y el sistema de poda en Tannat es del tipo Guyot simple a 8 yemas por vara, mientras que Albariño es Guyot con cuatro cargadores a 8 yemas cada uno. Las parcelas se encuentran 100% bajo riego por goteo.

3.4.2 Mediciones en la planta

Las mediciones en planta fueron realizadas para las 19 parcelas seleccionadas en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20. Dentro de cada parcela fueron seleccionadas 21 plantas agrupadas en tres centros, en las cuales se realizaron las siguientes mediciones:

- Fenología: monitoreo fenológico quincenal, evaluando 100 brotes o pámpanos por parcela, en base a la escala de Eichhorn-Lorenz (E-L) modificado en Coombe (1995).
- Fertilidad de yemas: relevamiento de número de brotes fértiles por planta, cantidad de inflorescencias por brote y distribución de la fertilidad a lo largo del pámpano en 14 plantas por parcela en el estado E-L 15.
- Componentes del rendimiento: Racimos (número por planta y peso; 14 plantas), peso y componentes de la baya (número de semillas por baya, proporción de hollejo, pulpa y semilla) de 50 uvas por parcela en cosecha. El peso se determinó con una balanza Ohaus Scout (Ohaus Corp., EE. UU.) con resolución de 1 g.
- Producción de uva: registro en 14 plantas por parcela del número y peso de racimos por planta sanos y afectados por enfermedad, donde se considera afectado cuando visualmente se detecta infección por hongos. Registro del peso por medio de balanza Ohaus Scout (Ohaus Corp., USA), con resolución 1 g.
- Producción de madera: relevamiento de peso de poda (madera del año de sarmiento) y número y peso de sarmiento en 10 plantas por parcela. Registro

del peso por medio de balanza Ohaus Scout (Ohaus Corp., USA), con resolución 1 g.

Por otra parte, de las 19 parcelas se seleccionaron 4 de Tannat y 4 de Albariño en condiciones topográficas contrastantes de altitud, exposición y pendiente (parcelas de Albariño 1, 2, 3 y 5 y de Tannat 11, 13, 14 y 18) y se realizaron las mediciones de:

- Producción de hojas: análisis de Superficie Foliar Expuesta Potencial (SFEP) mediante método de Carbonneau (1995) y cantidad de capas de hojas y porcentaje de racimos expuestos a través del análisis de Point Quadrat en 3 plantas por parcela (Smart y Robinson, 1991).
- Estatus hídrico: análisis de potencial hídrico foliar de base, en los momentos fenológicos de floración (E-L 25), cierre de racimo (E-L 33), envero (E-L 35) y precosecha (E-L 37) con cámara de Scholander (Scholander et al., 1965). Para cada medición, se tomaron 6 hojas totalmente desarrolladas, sanas y cercanas al racimo por parcela repartidas en ambas caras del viñedo antes de la salida del sol. Para determinar el nivel de estrés se utilizó la escala de estatus hídrico de Van Leeuwen et al. (2009), donde 0 a -0,2 bar es estrés nulo, -0,2 a -0,3 bar estrés leve, -0,3 a -0,5 bar estrés leve a moderado, -0,5 a -0,8 moderado a severo y mayor a -0,8 bar estrés hídrico severo en mediciones de pre alba.
- Composición de racimo: conteo de número de bayas por racimo, dimensiones del racimo y escala de compacidad de racimos (1= racimo laxo, 5= racimo compacto) (Ipach et al., 2005) en E-L 36. Evaluación realizada en 5 racimos por parcela.

Por último, se evaluó el equilibrio de planta entre el valor de peso de poda de las 10 plantas por parcela y su correspondiente producción de uva, mediante la fórmula:

$$\text{Índice de Ravaz: } IR = \frac{\text{Peso uva (g)}}{\text{Peso poda (g)}}$$

y el equilibrio vegetativo a través de superficie foliar de 3 plantas por parcela y su correspondiente producción de uva mediante la fórmula:

$$\text{Índice de SFEP/producción} = \frac{\text{SFEP} \left(\frac{\text{m}^2 \text{ hoja}}{\text{m}^2} \right)}{\text{Producción} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}$$

3.4.3 Evaluación de la composición de la uva

Las mediciones de composición química de uva fueron realizadas para las dos variedades en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20. El muestreo de bayas para determinar sólidos solubles, acidez titulable y pH precosecha y cosecha fue realizado tomando grupos de 5 bayas por racimo de la parte media expuesta del racimo en las plantas seleccionadas aleatoriamente a lo largo del racimo y para cada parcela siguiendo el protocolo propuesto por Carbonneau et al. (1991). El momento de cosecha fue determinado para Albariño cuando alcanzó en promedio pH 3,20 y superó 21°brix, mientras que Tannat se estableció en pH 3,30 y acumulación superior a 22°brix. Las mediciones realizadas fueron las siguientes:

- Seguimiento de metabolitos primarios (rutina enológica; protocolo OIV (2009): medición semanal de sólidos solubles (SST) a través de refractometría (refractómetro Hanna® HI 96801), acidez total (AT) en base a titulación expresado en ácido sulfúrico (g/l), medición de pH por potenciometría (pH metro Oakton® 11 series) y peso de baya con balanza Ohaus Scout (Ohaus Corp., USA) de E-L 34 a E-L 38. En cosecha la medición por parcela se realizó por duplicado. Del valor de sólidos solubles se calculó el nivel de Azúcares totales por baya (g baya^{-1}) = $\text{SST (g-L}^{-1}) \times \text{peso baya (g)} / (0.0046 \times \text{°brix} + 0.9927) / 1000$ (Vila et al., 2010).
- Ácidos orgánicos: en las muestras de uva tomadas en cosecha, se realizó perfil de ácidos orgánicos mediante cromatografía líquida. Las muestras se filtraron a través de una malla de 0,45 μm y se inyectaron en el equipo de HPLC (Sgimadzu LC- 10a DVPe bomba) y unido a un detector de fotodiodos (DAD, Kyoto, Japan). La evolución y separación de los ácidos orgánicos se llevó a cabo utilizando una columna CP18. La fase móvil consistió en agua ultrapura y el pH se ajustó a 2,3 utilizando H_3PO_4 . Las absorbancias de los ácidos orgánicos se detectaron a 210 nm utilizando un detector de arreglo 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 de OIV (2009).

- Polifenoles (extracción por método de Glories y Agustin, 1992): en cosecha por parcela y por duplicado, se procesaron 250 bayas tomadas aleatoriamente del racimo, para obtener los valores de riqueza fenólica a absorbancia 280 para ambas variedades y antocianos totales a pH 1 (ApH1) y antocianos extraíbles a pH 3,2 (ApH 3,2) para Tannat. A partir de ApH1 y ApH 3,2 se calculó el porcentaje de extractabilidad (%EA) como: $\%EA = ((ApH1 - ApH3,2) / 2) * 100$. Para el ciclo productivo 2019-20 se recolectaron 250 bayas de las parcelas 1, 2, 3, 5, 11, 13, 14 y 18 en los momentos E-L 35, E-L 36 y E-L 37, para evaluar la evolución de los mismos, con su correspondiente peso de baya.
- Polifenoles de hollejo (extracción por protocolo Harbertson-Adams; Harbertson et al. 2003): en el ciclo productivo 2018-19 en base a 10g de hollejo por parcela, se analizaron los polifenoles de hollejos en ambas variedades y antocianos y taninos del hollejo para Tannat en cosecha y su evolución en los estados E-L 35 E-L 36 y E-L 37, mediante espectrofotómetro Perkin-Elmer UV vis modelo Lambda 25 (PerkinElmer, Hartford, CT).
- Perfil de antocianos: Para la variedad tinta se realizó análisis de cromatografía líquida para evaluar el perfil de los antocianos en E-L 35, E-L 36, E-L 37 y E-L 38 para las parcelas 11, 13, 14 y 18 con cromatógrafo de líquidos de alto rendimiento Perkin-Elmer serie 200 equipado con un detector de matriz de fotodiodos, una bomba cuaternaria y un muestreador automático (HPLC-DAD; PerkinElmer, Shelton, CT). Se utilizó una columna Chromolith Performance C18 de fase inversa (100 mm 4,6 mm d.i., 2 µm; Merck).

3.4.4 Análisis estadístico

En cuanto al análisis temporal, se contrastaron las vendimias 2018-19 y 2019-20 en función a la media de las parcelas en Albariño y Tannat (mediciones de SFEP, porcentaje de racimos expuestos, capas de hoja, potencial hídrico de base, compacidad de racimos y evolución de polifenoles fueron promedio de las 4 parcelas por variedad

descriptas anteriormente, mientras que el resto de valores se realizaron con la totalidad de parcelas bajo estudio por variedad).

Para el análisis espacial, se agruparon las parcelas en base a las categorías de altitud y pendiente mostrada en el cuadro 4 y se tomaron los datos de ambos años para todas las parcelas por variedad, salvo los valores de SFEp, potencial hídrico de base y evolución de polifenoles donde se analizaron las 4 parcelas por variedad, por separado sin agrupar en categorías.

Para el estudio se realizaron análisis de estadística descriptiva (media, máxima, mínima, desvío estándar, coeficiente de variación). Para obtener diferencias entre años y entre categorías de altitud y pendiente se realizaron test de ANOVA con p- valor $< 0,05$. Para el análisis de componentes de rendimiento se realizaron correlaciones simples por método de Person (p- valor $< 0,05$). Para el análisis global fue utilizado el análisis multivariado de componentes principales (ACP) y el análisis de cluster. El procesamiento de datos fue realizado con el software estadístico INFOSTAT ® (Di Rienzo et al., 2011).

3.5 RESULTADOS: EVALUACIÓN DE TANNAT

3.5.1 Respuesta fenológica y estatus hídrico de la planta

El desarrollo fenológico y el estatus hídrico, fueron evaluados en función a la variabilidad temporal (años) y espacial (topografía) en la zona atlántica de Uruguay.

3.5.1.1 Evolución fenológica

La temporada 2018-19 la brotación comenzó el 10/9, mientras que el ciclo 2019-20 sucedió a partir del 13/9. El ciclo 2018-19 determinó una brotación más avanzada, alcanzando una semana antes la floración comparada al ciclo 2019-20. La floración en el 2018-19 se registró entre 9/11 y 16/11 y el periodo 2019-20 lo hizo entre el 14/11 y 20/11. Posteriormente el avance del desarrollo fenológico del 2018-19 se vio retrasado luego de la floración para llegar a envero una semana después que el ciclo 2019-20. El 50% de envero se registró el 26/1 para el ciclo 2018-19, mientras que el año 2019-20, el comienzo de la maduración de la uva sucedió el 19/1 (figura 2).

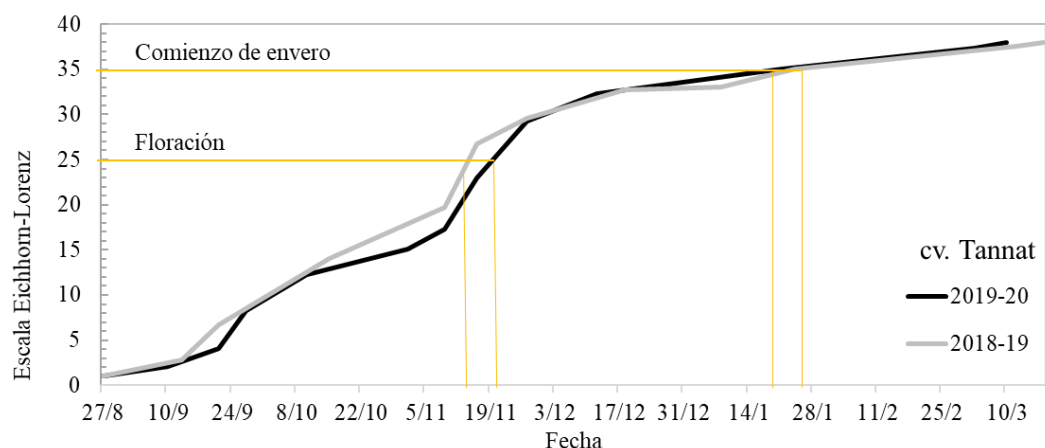


Figura 2. Evolución de la fenología en Tannat en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20 según escala de Eichhorn-Lorenz modificada de Coombe (1995).

El valor en días y GDD necesarios en cada año para alcanzar los diferentes estados fenológicos se describe en el cuadro 5. La variedad tinta necesitó en promedio de dos vendimias 193 y 1831 GDD días para alcanzar la madures tecnológica. En cuanto a la discriminación por etapas el año 2018-19 tuvo un periodo de B-F 11 más corto que el 2019-20. Este último obtuvo un periodo F-E 10 días más corto y un periodo E-C de 5 días menor. El pasaje de un estado a otro, se relacionó estrechamente con la acumulación de GDD en comparación al número de días, donde el CV entre años por periodos no superó el 10%.

Cuadro 5. Descripción de días y GDD registrados para el pasaje de los diferentes periodos del desarrollo de Tannat en los ciclos 2018-19 y 2019-20.

	2018-19		2019-20		Promedio			
	días	GDD	días	GDD	días	CV (%)	GDD	CV (%)
B-F	52	385	74	437	63	24,7	411	8,9
F-E	81	852	60	870	71	21,1	861	1,5
E-C	57	567	62	552	60	5,9	560	1,9
Ciclo	190	1804	196	1859	193		1831	
No. días Ene. a C	76		70		73			
GDD por día E-C		9,9		8,9			9,4	

B= brotación, F=floración, E=envero, C= cosecha, Ene= enero.

En cuanto a las diferencias entre parcelas del avance fenológico, no se registraron variaciones significativas asociadas a la topografía del sitio bajo estudio.

3.5.1.2 Estatus hídrico

El registro de los niveles de hidratación de la planta fue evolucionando de manera desigual entre los años en estudio (Cuadro 6). El ciclo 2019-20 mostró déficit leve a moderado, en el período de floración (E-L 25), mientras que la primavera 2018 arrojó déficit leve. Luego durante el periodo entre cuajado (E-L 27) y cierre de racimo (E-L 33), el ciclo 2019-20 recuperó su nivel hídrico para ubicarse en la categoría de estrés nulo. Sin embargo, el estrés alcanzó valores de -3,3 bar (estrés leve a moderado) en el comienzo de envero (E-L 34). Situación inversa ocurrió en el ciclo 2018-19, donde las plantas partieron de cuajado con estrés moderado a leve para llegar a envero (E-L 34) con estrés nulo. Post envero (E-L 34 en adelante), ambos ciclos se intensificaron en el nivel de estrés, el ciclo 2019-20 llegó a mostrar niveles de estrés leve a moderado y el ciclo 2018-19, el cual, en 10 días, decayó su nivel de estrés de nulo (-0,1 bar) a leve (-2,6 bar).

Cuadro 6. Valores promedio del potencial hídrico foliar de base (bar) de Tannat, evaluado en floración (e25), cierre de racimo (e33), envero (e34) y pre cosecha (e37).

Media	Ψ_{base} (bar) E-L 25	Ψ_{base} (bar) E-L 33	Ψ_{base} (bar) E-L 34	Ψ_{base} (bar) E-L 36
Año				
2018-19	-3,6**	0,0	-0,1	-2,6
2019-20	-2,7	-1,4 **	-3,3**	-4,7**

**Diferencias significativas entre años (ANOVA; p-valor < 0,05); letras diferentes entre parcelas, diferencias significativas entre parcelas (ANOVA; test de Tukey; p-valor < 0,05). Escala de estatus hídrico de referencia de Van Leeuwen et al. (2009).

La variabilidad espacial señaló diferencias entre parcelas durante el año 2019-20 en los momentos de E-L 25, 33 y 36. Mientras que el ciclo 2018-19 las diferencias solo se manifestaron en los momentos de E-L 25 y 36. Las parcelas no se comportaron de

igual forma en los diferentes años y estados fenológicos. Como ejemplo la parcela 18 en el ciclo 2018-19 fue la que presentó el mayor déficit hídrico en el E-L36 (-3,1 bar), mientras que al año siguiente fue la más hidratada en ese mismo estado (-4,0 bar). Otro ejemplo es la parcela 13, la cual en el ciclo 2018-19 presentó en el periodo de floración (E-L 25) el mayor estrés hídrico (-5,7 bar), sin embargo, al año siguiente no se diferenció del resto (-2,5 bar). Por otra parte, dentro de un mismo año y en los diferentes estados fenológicos, las parcelas no siguieron el mismo orden de nivel de hidratación. El principal ejemplo es la parcela 14 en el ciclo 2019-20, donde en el estado E-L era la más hidratada (-2,3 bar), sin embargo, a E-L 33, con el mismo nivel se convirtió en la más estresada (-2,2 bar) (Figura 3).

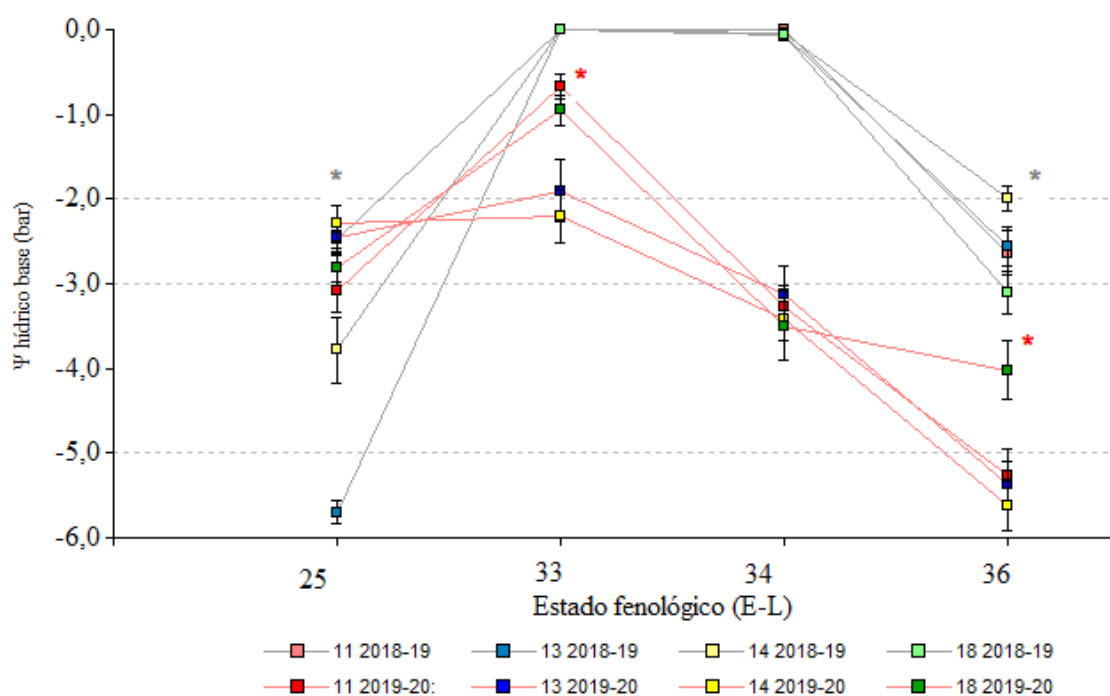


Figura 3. Evolución del estatus hídrico de la planta (bar), de las diferentes parcelas de Tannat en los ciclos 2018-19 (línea gris) y 2019-20 (línea roja). *Diferencias significativas entre parcelas (ANOVA; p-valor < 0,05).

3.5.2 Componentes del rendimiento

Los diferentes parámetros de la composición del rendimiento: fertilidad de yemas, producción, número de racimos, peso de racimos, número de bayas por racimo, peso

de baya, no. de bayas y componentes de la baya fueron analizados en cuanto a la variabilidad temporal (años) y a la variabilidad espacial (parcelas).

3.5.2.1 Fertilidad de yemas

El resultado de la evaluación del número de brotes por planta, inflorescencias por planta y promedio de inflorescencias por brote en los dos ciclos se muestra en el cuadro 7. El ciclo 2018-19 presentó 0,6 brotes por planta más que el ciclo siguiente. El número de yemas brotadas con respecto a las yemas dejadas en la poda fue de -0,5 en 2018-19 y -1,1 en 2019-20. El número de inflorescencias por planta fue de 11,1 el primer ciclo y 11,5 el segundo, sin diferenciarse estadísticamente.

Cuadro 7. Evaluación de la fertilidad de yemas en Tannat para los ciclos 2018-19 y 2019-20

	2018-19	DE	2019-20	DE
Brotes (pl)*	7,5**	1,97	6,9	1,67
Inflorescencias (pl)	11,1	3,6	11,1	4,4
Inflorescencias/brote	1,5	0,7	1,6	0,4

* brotes principales dejados en la poda. ** Diferencias estadísticas entre años p-valor <0,05

El número de inflorescencias por brote fue similar en ambos años en evaluación, promediando el valor de 1,5 racimos por brote. Sin embargo, la distribución de la fertilidad de yemas a lo largo del cargador se presentó en aumento hacia las yemas apicales (Figura 4). La fertilidad de las yemas basales es cercana a 1,5 racimo por brote en promedio, mientras que las yemas apicales alcanzan en su mayoría se aproximan a 2 racimos por brote.

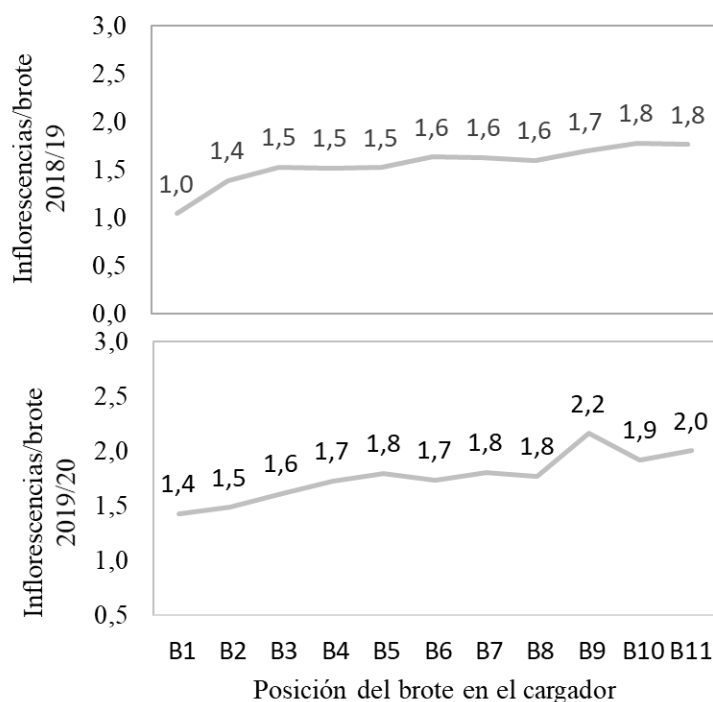


Figura 4. Evolución de la fertilidad de yemas (no. de inflorescencias/brote) a lo largo del cargador para Tannat en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20

Al agrupar las parcelas en base a las condiciones topográficas, la altitud fue el factor que diferenció la cantidad de inflorescencias por plantas. Las zonas altas registraron 2 inflorescencias por planta menos que las zonas bajas y medias (figura 5).

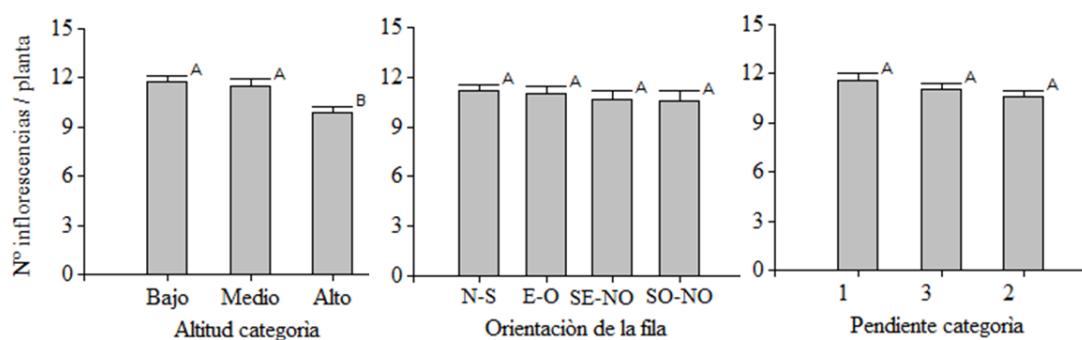


Figura 5. Relación entre número de inflorescencias/planta de Tannat y condiciones topográficas de las parcelas. Diferencias por ANOVA (test de Tukey; p-valor < 0,05).

3.5.2.2 Producción de uva, características del racimo y de la baya

Los valores obtenidos de producción de uvas, número de racimos por planta, peso de racimos, número de bayas por racimo y peso y estructura de baya por año se muestran en el cuadro 8.

La producción promedio obtenida por planta fue 446 g significativamente mayor en el ciclo 2018-19, comparado al siguiente periodo. Sin embargo, el número de racimos y el peso de racimos, a pesar de ser mayor en el 2018-19, no mostraron diferencias significativas entre años.

Cuadro 8. Valores promedio de variables de rendimiento (rendimiento, peso de racimo, número de racimos e incidencia a enfermedades), peso de poda y equilibrio de planta (Índice de Ravaz; IR) obtenidos en las zafas 2018-19 y 2019-20 en Tannat.

	2018-19	DE	2019-20	DE
Producción (g/pl)	2934**	1191	2488	1083
Peso de racimo (g)	247	89	228	72
No. de racimos (pl)	13	5	11	5
Índice de compacidad	3,5 **	0,9	2,9	1,0
Bayas por racimo (n°)	218 **	100	141	55
Peso de baya (g)	1,67	0,13	1,73 **	0,14
Peso hollejo (g / g baya)	0,17	0,03	0,19	0,02
Pulpa (%)	79**	3	75	3
Hollejo (%)	17	3	19	2
Semilla (%)	4	1	6 **	1
Semillas/baya	2,0	0,34	2,32**	0,26

**Diferencias estadísticas entre años p-valor <0,05

El peso de baya del ciclo 2019-20 fue significativamente mayor al periodo 2018-19 (1,74 y 1,67 g respectivamente). Sin embargo, el número de bayas por racimo y el índice de compacidad se presentaron significativamente mayor en la zafa 2018-19 (+77 bayas/racimo y + 0,6 de valor de índice de compacidad). En cuanto a la estructura de la baya, Tannat presenta en promedio un 77% de pulpa, 18% de hollejo y 5% de

semillas del peso total de la baya. En referencia a la variabilidad entre ciclos, el peso de hollejo no se diferenció entre años, sin embargo, el número y peso de semillas fue significativamente superior en el ciclo 2019-20. La diferencia es de 0,3 semillas más por baya.

La evolución del peso de baya para ambos años se muestra en la figura 6. Al momento de envero, el ciclo 2018-19 presentaba 78% de su tamaño final, donde el máximo se dio el 14/2 (21 días post envero) alcanzando 1,74 g. Una vez alcanzado el máximo, la baya perdió a cosecha 0,7 g, lo que equivale a un 5%. Si la cosecha hubiera sido una semana antes la pérdida de peso hubiera representado un 12% (0,21 g), Al siguiente año, en envero la baya presentaba 73% del tamaño final, y logró su máximo tamaño de 1,77g el 12/2 (21 días post envero). Luego del valor máximo, la baya a cosecha perdió 0,03 g (2%), no obstante, si la cosecha hubiera sido una semana antes, la reducción del tamaño hubiera significado un 9% (0,15 g). Por otra parte, la zafra 2019-20, una vez alcanzado el punto máximo de crecimiento posterior al envero, se mantuvieron estables el resto de la maduración. Sin embargo, la curva de crecimiento en el periodo 2018-19 muestra una fuerte caída del peso a partir del 15/2/2019. Posteriormente, ese mismo año recupera en promedio 0,1 g por baya en la última semana antes de la cosecha.

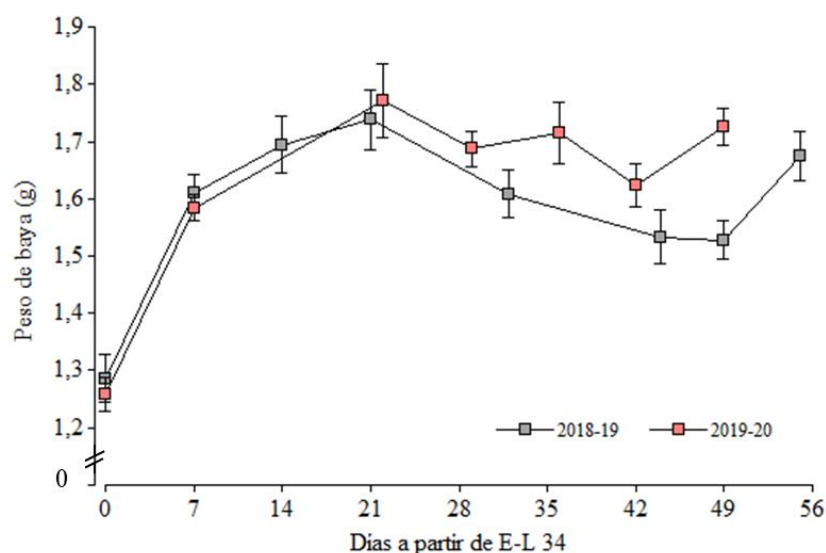


Figura 6. Evolución del peso de baya para Tannat en los ciclos 2018-19 (gris) y 2019-20 (rojo).

En cuanto a la variabilidad espacial de la producción, muestra que la media de las parcelas 13 y 14 para ambos por debajo de 2500 g/pl, mientras que las parcelas 11 y 19 registraron en ambos años valores por encima de 2500 g/pl. No obstante, al agrupar a las parcelas por condiciones topográficas (altitud y pendiente) no se registraron diferencias significativas (figura 7).

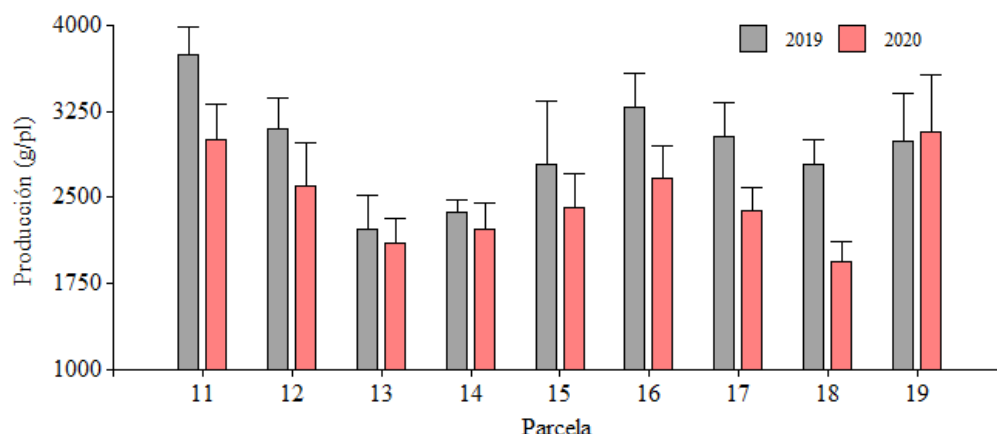


Figura 7. Registro de la producción media (g/pl) para cada parcela en los ciclos 2018-19 (gris) y 2019-20 (rojo)

Al agrupar las parcelas en las categorías topográficas, no se registraron diferencias estadísticas significativas (test de Tukey; p -valor $< 0,05$), para altitud y pendiente en cuanto a peso de baya, peso de hollejo y número y peso de semillas por baya a cosecha. En la figura 8, se muestra como la evolución del peso de la baya en las zonas bajas para el ciclo 2019-20, se mantuvo más estable y con menos pérdidas por deshidratación comparado a las parcelas en zonas altas, donde la caída del peso es más pronunciada. Esto se aprecia el periodo de 21 a 29 días post E-L 34 en el ciclo 2019-20 donde las parcelas en zonas altas perdieron 0,15 g (9%), mientras que las parcelas en zonas bajas 0,06 g (4%). Por otra parte, el máximo de tamaño en el ciclo 2018-19 se dio a los 14 días post E-L 34, mientras que el máximo en el 2019-20 ocurrió a los 21 días.

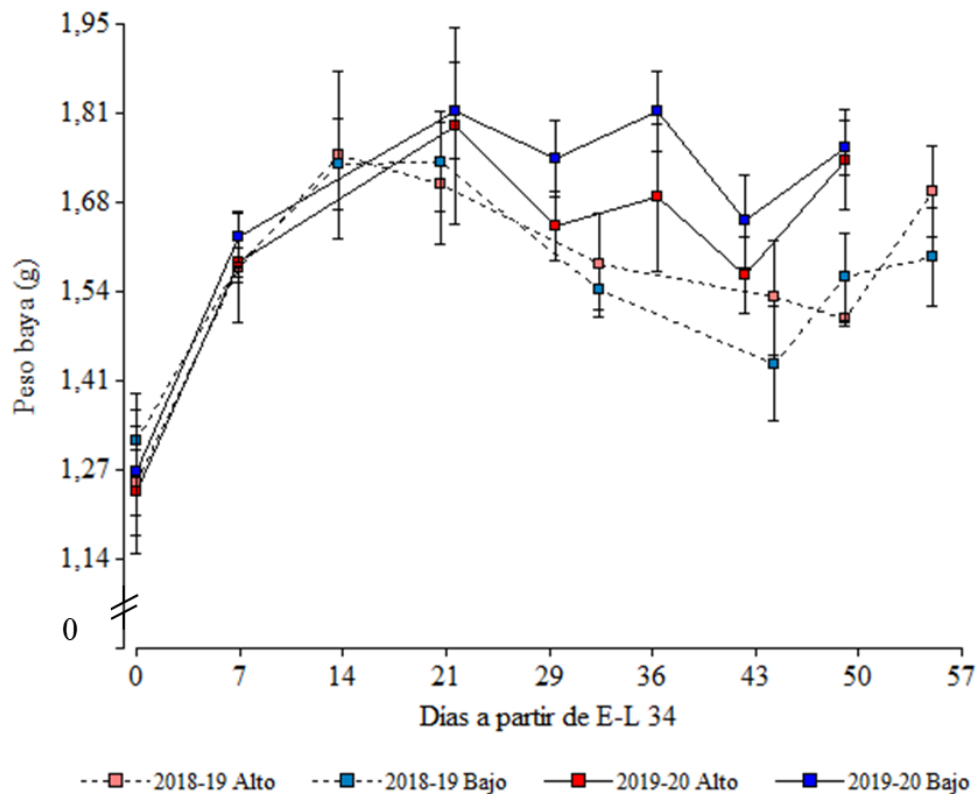


Figura 8. Evolución del peso de baya en dos condiciones topográficas contrastantes: zonas altas (rojo) y zonas bajas (azul) para los ciclos 2018-19 (línea punteada) y 2019-20 (línea continua).

El desglose de la relación entre los diferentes componentes del rendimiento se muestra en la figura 9. Se presenta una fuerte correlación entre el número de bayas y el peso del racimo ($r^2 > 0,94$), quedando en segundo lugar el peso de la baya, solo significativo el año 2018-19 ($r^2 = 0,66$). Entre el peso de baya y el número de bayas no se registraron relaciones significativas. En cuanto al peso del racimo y el número de los mismos, solo el ciclo 2019-20 presentó una competencia entre ellos arrojando un valor de ($r^2 = 0,74$). Por su parte, el rendimiento de Tannat en ambos años de estudio se ligó estrechamente con el peso de racimos ($r^2 > 0,67$), no mostrando diferencias significativas con el número de racimos.

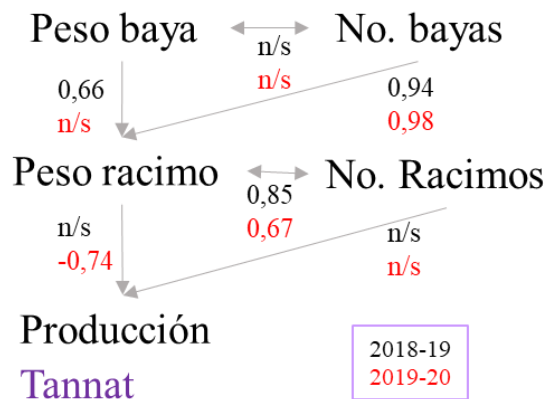


Figura 9. Diagrama de componentes del rendimiento y sus correlaciones para Tannat en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20. Coeficiente de correlación de Person con significancia p-valor <0,05.

3.5.3 Desarrollo foliar, peso de poda e indicadores de equilibrio de la planta

La variabilidad temporal y espacial para los indicadores de desarrollo foliar y equilibrio fueron evaluados para Tannat (Cuadro 9).

Cuadro 9. Descripción del desarrollo foliar, peso de poda, producción e equilibrio fisiológico de la planta de vid para los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20.

	2018-19	DE	2019-20	DE
Rendimiento (g/pl)	2934**	1191	2488	1083
SFEp (m2/pl)	1,32**	0,02	1,08	0,02
Capas de hoja (no.)	2,9**	0,5	1,8	0,4
Racimos expuestos (%)	17	16	47**	14
Peso de poda (g/pl)	564**	183	477	215
Índice de Ravaz	8,0	4,3	7,0	5,0
SFEp/producción	0,5	0,1	0,5	0,1

**Diferencias estadísticas entre años p-valor <0,05

Respecto a la respuesta del desarrollo foliar, el comportamiento se diferenci6 significativamente entre a6os. El periodo 2018-19 present6 +0,24 m²/pl de SFEP, + 1,1 capas de hojas y 30% de racimos menos expuestos. El peso de poda sigui6 la misma tendencia, arrojando diferencias entre a6os con un valor de 87 g/pl a favor del a6o 2018-19. Sin embargo, el equilibrio expresado con el IR no se diferenci6 entre a6os (ambos a6os dentro del rango de equilibrio para Tannat) (cuadro 14).

Los valores de la superficie foliar expuesta por parcela se muestran en la figura 10. La misma arroja que el cuadro 14 present6 el menor valor significativo de SFEP con 0,86 m²/pl.

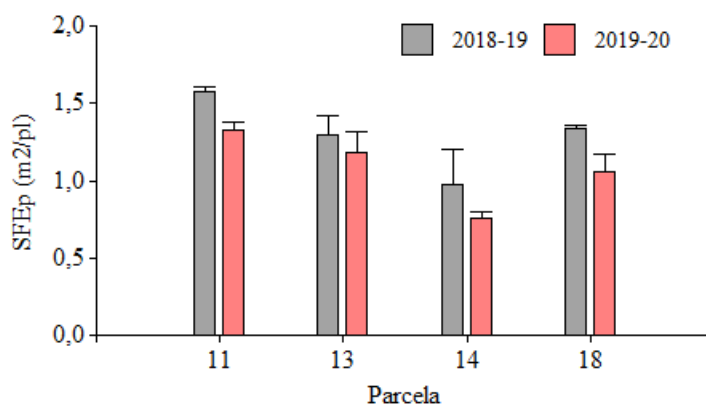


Figura 10. Descripción de la superficie foliar expuesta potencial (SFEP, m²/pl) para 4 parcelas de Tannat en situaciones topográficas contrastantes para los ciclos 2018-19 (gris) y 2019-20 (rojo).

La distribución de los indicadores de rendimiento, peso de poda e IR por parcela se muestra en la figura 11. La producción media por planta en todas las parcelas fue mayor a 2000 g/pl. La menor producción y el menor peso de poda medio entre a6os se registr6 en las parcelas 13 y 14 con 2159 g /pl y 2300 g/pl de uva y 370 y 270 g/pl de madera del a6o respectivamente. En contra posición, las parcelas 11 y 19 presentaron la mayor producción y el mayor peso de poda con 3372 y 3029 g/pl de uva y 602 g/pl y 568 g/pl de madera del a6o respectivamente. El IR en las parcelas 11, 12, 13, 15, 16, 18 y 19 aparece por debajo de 6 en ambos a6os, el cual es el umbral m6nimo de equilibrio en Tannat. Por 6ltimo, al agrupar las parcelas por condiciones topográficas no se obtuvieron diferencias significativas con el peso de poda o en IR.

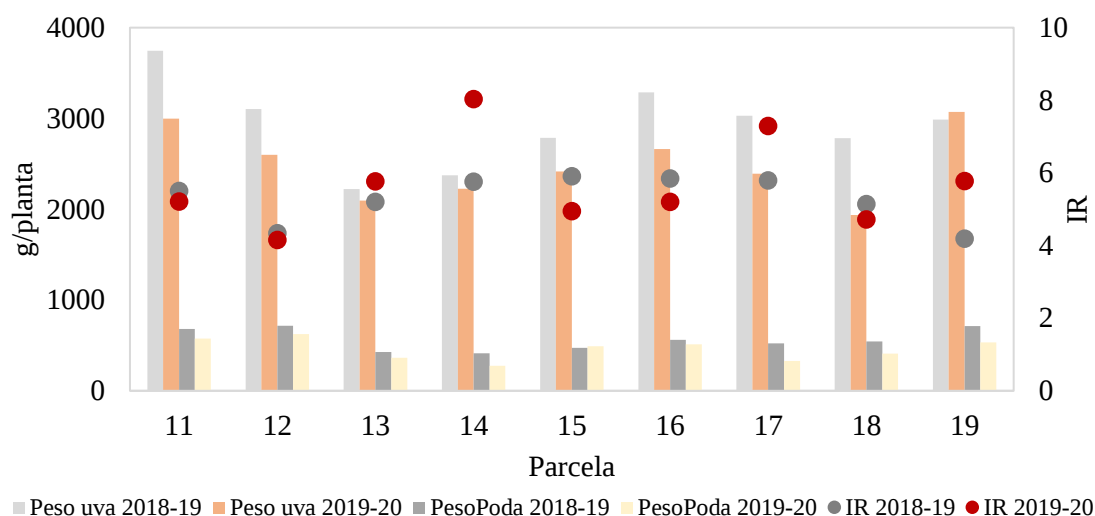


Figura 11. Resultado promedio de los ciclos 2018-19 y 2019-20 de producción de uva (g/pl), peso de poda (g/pl) y equilibrio fisiológico (Índice de Ravaz) para las parcelas Tannat.

Asociado a la respuesta de la planta al ambiente y a la superficie foliar, la incidencia de enfermedades, principalmente *Botrytis cinerea*, fue evaluada en campo en el momento de cosecha para las dos variedades en ambos años. Como resultado, se observó que solamente en la temporada 2018-19 se registró el valor de 27 % del peso total compuesto de racimos con podredumbre. Mientras que el ciclo 2019-20 no reportó incidencia de enfermedades a cosecha en el racimo. En cuanto a la variabilidad espacial, no se registraron diferencias significativas entre las diferentes condiciones topográficas.

3.5.4 Metabolitos primarios y secundarios de uva

3.5.4.1 Variabilidad temporal

El registro de los valores de metabolitos primarios de SST (g/l, g/baya y g/g baya), pH, acidez titulable (g H₂SO₄/l), ácidos orgánicos (mg/l) y metabolitos secundarios IPT, ApH1 (mg/l y mg/ baya) y ApH 3,2 (mg/l y mg/ baya), se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Valores promedio de metabolitos primarios y secundarios de la uva para Tannat en cosecha (E-L 38), para las dos temporadas en estudio.

	2018-19	DE	2019-20	DE
SST (g/l)	233	14	242	11
SST (g / baya)	0,34	0,02	0,38**	0,04
SST (g /g baya)	0,21	0,01	0,22	0,01
pH	3,38	0,06	3,35	0,06
Acidez titulable (g H ₂ SO ₄ /l)	5,0**	0,4	4,2	0,6
Rel SST (°brix) / Acidez titulable (g H ₂ SO ₄ /l)	4,66**	0,42	5,85	0,80
Ácido tartárico (g/l)	3,9**	0,6	3,3	0,3
Ácido málico (g/l)	8,7	0,8	8,8	1,3
Rel. tartárico/málico	0,45**	0,09	0,38	0,03
IPT (A280)	59,3**	8,7	55,1	4,6
ApH1 (mg/l)	3421**	450	2660	412
ApH1 (mg/ baya)	51,5**	7,2	41,2	7,5
ApH 3,2 (mg/l)	1323**	218	1065	218
ApH 3,2 (mg/ baya)	18,9**	3,1	16,5	4,0
%EA	60,5	4,3	59,8	7,7

**Diferencias estadísticas entre años p-valor <0,05

Los sólidos solubles, en el ciclo 2019-20 en promedio fue 9 g/l más que el periodo anterior, no obstante, no registró diferencias en la concentración. Sin embargo, al observar la acumulación por baya, se observa que el ciclo 2019-20 presentó una diferencia significativa de 0,04 g SST/baya. La concentración de acidez (gH₂SO₄/l) fue significativamente mayor en el ciclo 2018-19, donde registró 0,8 g/ l más que el 2019-20. El pH no se diferenció entre años, ya que fue criterio de cosecha. El ácido tartárico mostró el mayor nivel en la vendimia 2018-2019, comparado al periodo 2019-20 (+0,7 mg/l). Por su parte, el ácido málico no mostró diferencias significativas en la concentración con un promedio de 8,8 g/l para los dos periodos. La relación tartárico/málico se mostró sin diferencias entre años con valores promedio de 0,38 a 0,45.

En los metabolitos secundarios, el IPT en el ciclo 2018-19 fue significativamente mayor a la siguiente zafra en 3,8 IPT. El valor de antocianos, tanto potencialmente extraíbles (ApH1), como los antocianos extraíbles (ApH 3,2), se diferenciaron significativamente entre añadas. La cosecha 2018-19 mostró ApH1 +761 mg/l y ApH 3,2 +256 mg/l comparado al ciclo 2019-20, permaneciendo invariable el %EA.

La variabilidad interanual, registrada en el desvío estándar, el ciclo 2018-19 se presentó más variable en los indicadores SST (g/l), ácido tartárico, IPT y ApH1, mientras que el siguiente ciclo mostró mayor variabilidad en los indicadores SST (g/baya), acidez titulable, ácido málico, ApH3,2 y %EA.

En las figuras 12 se encuentran la evolución de A) sólidos solubles (g/baya), B) acidez titulable (g H₂SO₄/ l) y C) pH en los ciclos 2018-19 y 2019-20. Tanto La zafra 2018-19 describe un atraso en la acumulación de azúcares. La fase uno de acumulación rápida transcurrió hasta 14 post E-L 34 mientras que al año siguiente esta fase duró hasta 21 días. Similar situación ocurrió con la degradación de ácidos medido por titulación, donde el ciclo 2018-19 presentó una fase uno hasta 14 días post E-L 34 y el siguiente ciclo duró hasta 21 días, donde posteriormente los valores a cosecha no lograron igualarse. Por último, el pH del ciclo 2018-19, presentó una evolución más lenta, sin embargo, a cosecha no hubo diferencias estadísticas entre años.

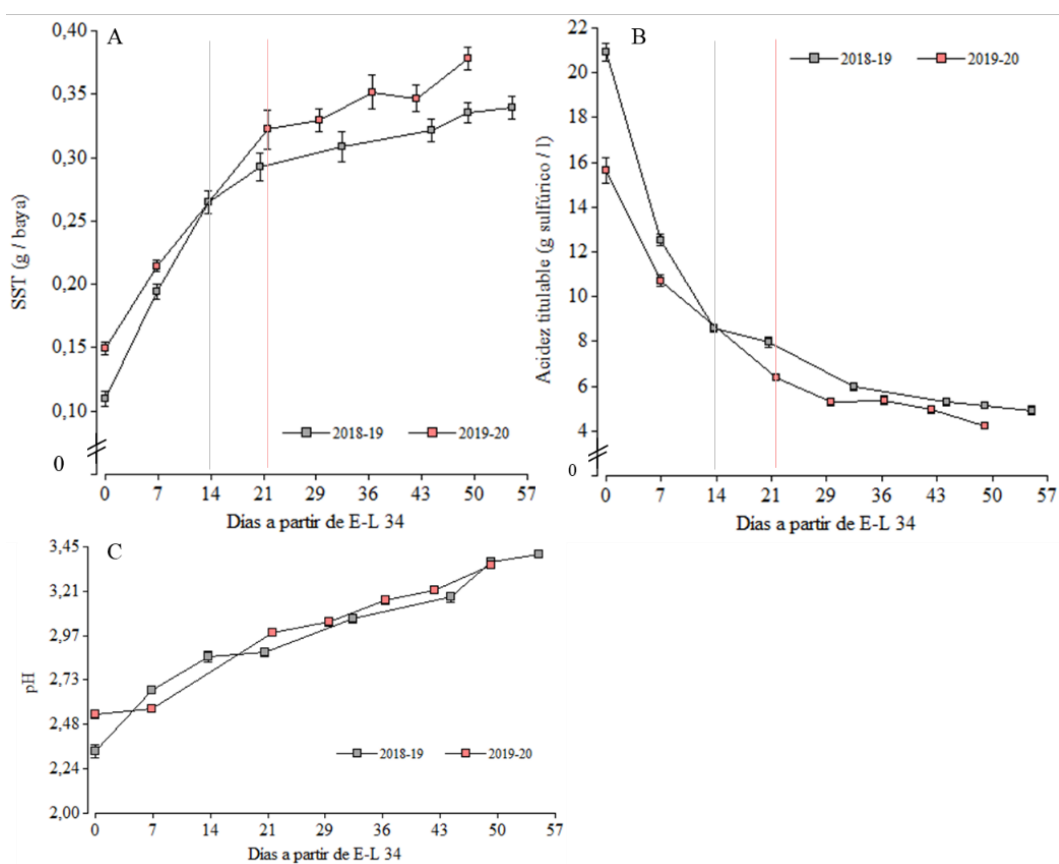


Figura 12. Evolución de: A) sólidos solubles (SST; g / baya), B) acidez titulable (AT; g sulfúrico / l) y C) pH para los ciclos 2018-19 (gris) y 2019-20 (rojo).

La evolución de los fenoles, taninos y antocianos de hollejo para el ciclo 2018-19, muestra como como los fenoles aumentan, principalmente por la síntesis de antocianos. No obstante, una semana previa a la cosecha (7/3/2019), se presenta una caída de los fenoles de hollejo en 3,3 mg/ g hollejo y una disminución de antocianos en 2,0 mg/ g hollejo. Los taninos de hollejo permanecieron invariables durante la maduración (figura 13 A). Al observar la evolución del IPT, en el ciclo 2019-20 (Figura 13 b), se comportó estable a lo largo de la maduración. Los antocianos, tanto potencial total (ApH1) como fácilmente extraíble (ApH3,2) aumentaron a partir de enero, hasta registrar su pico máximo el 28/2/2020 (una semana previa a cosecha) con 2585 y 970 mg/l para ApH1 y Ap3,2 respectivamente. Posteriormente, se observa una caída de 143 mg/l para ApH1 y 17 mg/l ApH3,2.

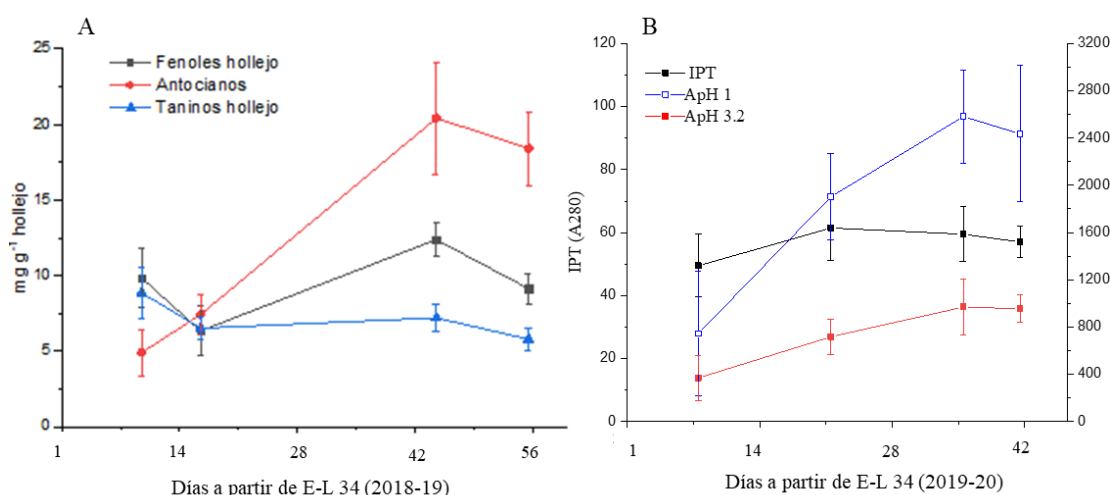


Figura 13. A) Seguimiento de la evolución de Fenoles totales de hollejo, Antocianos totales y taninos totales de hollejo en el ciclo 2018-19 para Tannat. B) Seguimiento de la evolución del IPT, antocianos fácilmente extraíbles (pH 3,2) y potencialmente extraíbles (pH 1) en el ciclo 2019-20 para Tannat

El perfil de antocianos a cosecha (mg / g hollejo) para el ciclo 2018-19 se muestra en el cuadro 11. En cuanto a su composición, el grupo de los glúcidos representa la mayor cantidad con el 70%, seguido por los acetatos con 16% y los cumaratos con 14%. En cuanto al tipo, la malvidina es el antociano más abundante con 51%, en segundo lugar, aparece la petunidina con 20%, segundo por la delfinidina (16%), peonidina (9%) y cianidina (4%).

Cuadro 11. Valores promedio de antocianos (mg / g hollejo) medidos en 9 parcelas de Tannat al momento de cosecha (E-L 38) en el ciclo anual 2018-19.

Antocianos (mg / g hollejo)	Ciclo 2018-19	
	Media	D.E
Antocianos totales	91,79	18,16
Glucósidos no acilados	64,76	13,38
Glucósidos cumarilados	12,56	2,57
Glucósidos acetilados	14,47	3,12
Delfinidina	14,52	3,35
Cianidina	3,84	1,1
Petunidina	18,66	4
Malvidina	46,34	8,9
Peonidina	8,43	1,9

La evolución del perfil de los antocianos en mg de malvidina-3-glucosido por g hollejo fresco se observa en la figura 14 para el ciclo 2018-19. Al categorizar los distintos antocianos según sus correspondientes grupos en cuanto a clase y composición, se puede observar en la figura 14 A. Como en todos los casos el aumento encuentra su pico máximo a 50 días post E-L 34 para decaer posteriormente a los 56 días. Al graficar la evolución de antocianos totales (mg / g hollejo) y la acumulación de SST (g / baya) se observa desacople entre el óptimo de acumulación de antocianos y el de acumulación de SST. El máximo de antocianos se da a los 50 días post E-L 34, mientras que el máximo de SST ocurre a los 56 días (figura 15).

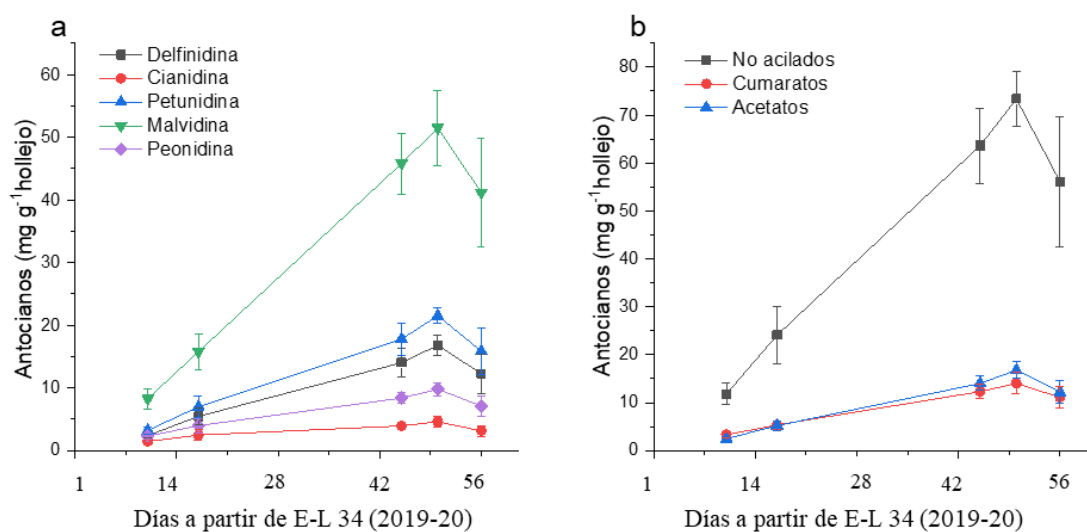


Figura 14. Evolución del perfil de antocianos según tipo (A) y grupo (B), durante el ciclo 2018-19.

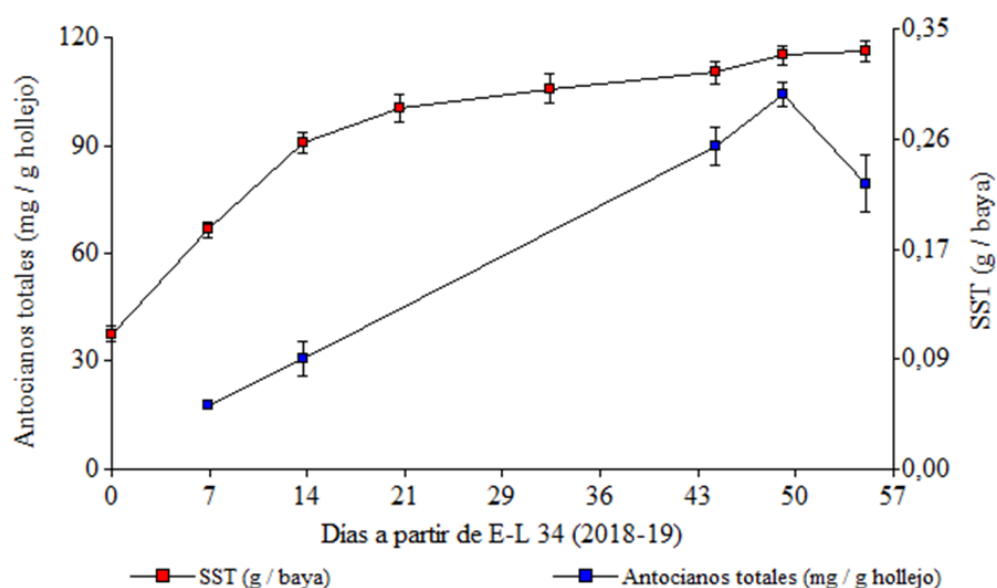


Figura 15. Evolución de los SST (g / baya) y la acumulación de antocianos totales (mg/ g hollejo) para las parcelas de Tannat en el ciclo 2018-19.

3.5.4.2 Variabilidad espacial e interacción con variabilidad temporal

Los metabolitos primarios de la baya en cosecha (E-L 38), medidos a través de SST (g / g baya), pH y AT (g / l), fueron determinados para cada parcela en evaluación (figura 16). El promedio de los SST para ambas temporadas en las parcelas fue de 238 g/l, 0,36 g/baya y 0,22 g/g baya. Las uvas de las parcelas 15, 17 y 18 fueron las que alcanzaron los mayores valores con 0,22 g / g baya, mientras que la más variable entre años fue la parcela 16. El valor promedio de acidez titulable de todas las parcelas fue de 4,6 g ácido sulfúrico/l, donde la parcela 16 fue la mantuvo mayor nivel de acidez con 5,3 g/l y las parcelas 13 y 14 fueron las más variables a través de los años. La parcela 15 obtuvo el pH más ácido en cosecha con 3,32, donde la media para todas las parcelas fue de 3,37, mientras que la 14 fue la más variable con respecto a esta variable.

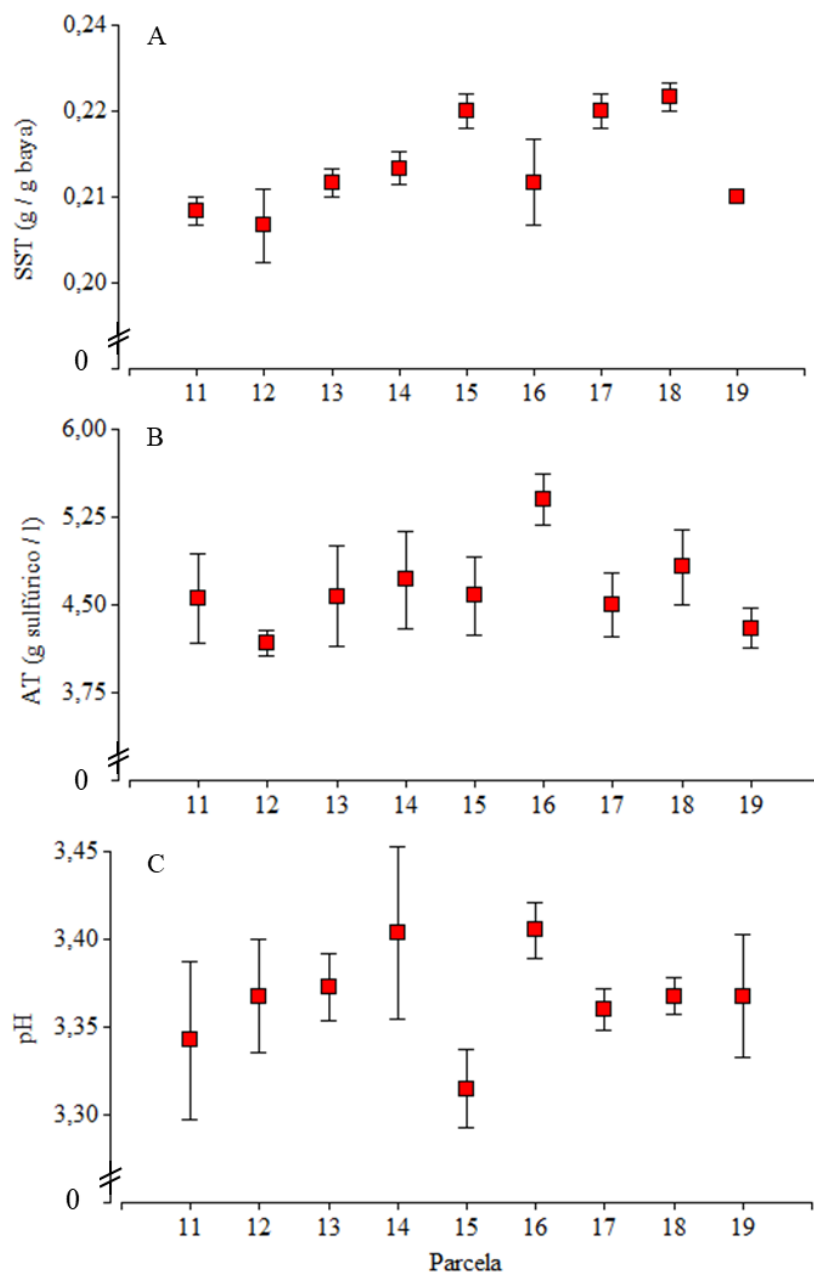


Figura 16. Valores promedio y desvíos estándar de A) sólidos solubles (SST; g/ g de baya), B) acidez titulable (AT; g H₂SO₄ / l) y C) pH de las uvas de las parcelas Tannat, en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20.

El perfil de ácidos orgánicos se analizó en cosecha E-L 38 (figura 17). El promedio de estos compuestos fue de 3,6 y 8,8 g/l de ácido tartárico y ácido málico respectivamente. El mayor valor de ácido málico lo registra la parcela 13, mientras que el mayor nivel

de tartárico lo presentó la parcela 16. El CV entre parcelas fue de 15% para el ácido tartárico y 12 % para el ácido málico.

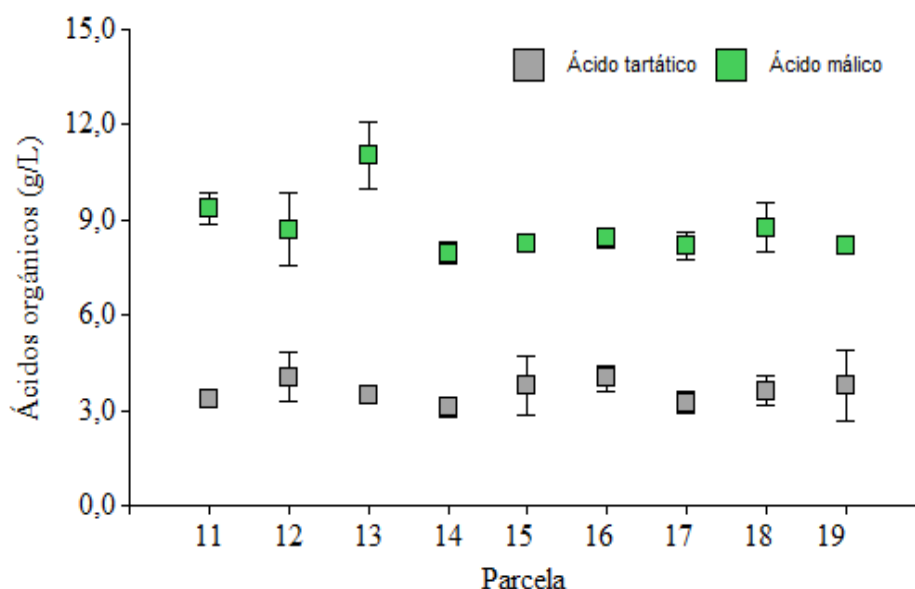


Figura 17. Valores promedio de ácido tartárico (g / l; gris) y ácido málico (g / l; verde) para las parcelas de Tannat en los ciclos productivos 2018-19 y 2019.

La medición del IPT (figura 18), el índice de antocianos potencialmente (ApH1) y el índice de antocianos extraíbles (ApH 3,2) por parcela se muestra en la figura 44. El valor medio para todas las parcelas fue de 57 IPT, 3040 mg/g de antocianos potenciales y 1194 mg/l de antocianos extraíbles. La parcela con mayor nivel de IPT, ApH 1 y ApH 3,2 fue la 18 con 67, 3561 mg/l y 1314 mg/l respectivamente. La parcela con el menor IPT fue la 12 con 47, mientras que la parcela 13 arrojó los menores valores ApH 1 con 2408 mg/l y la 11 el menor valor de ApH 3,2 con 1011 mg/l.

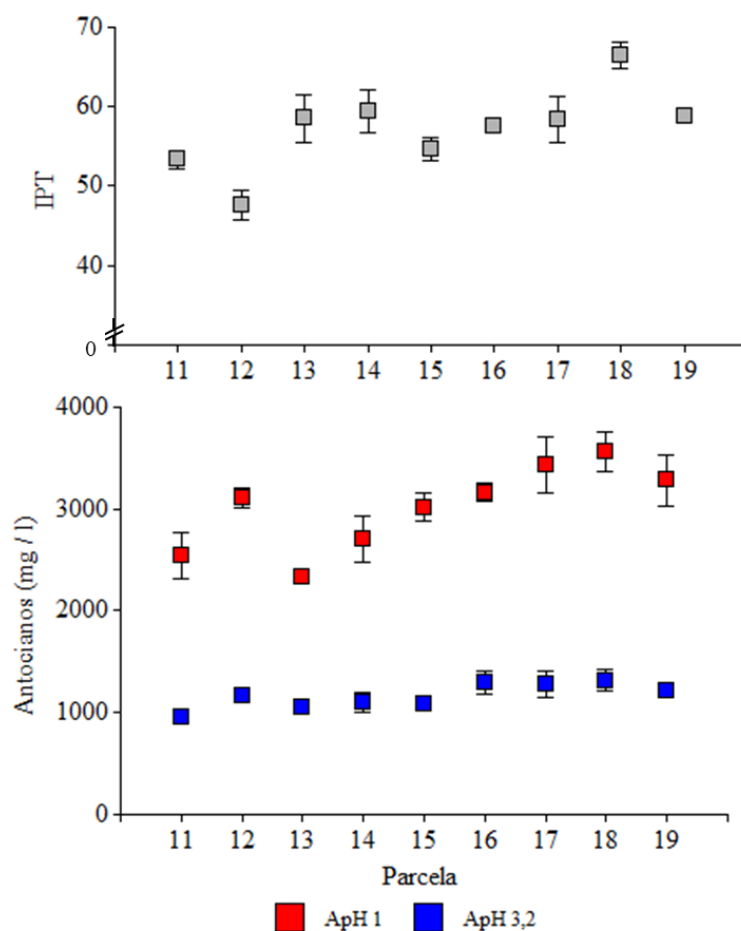


Figura 18. Valor medio de IPT (gris), antocianos totales (ApH1, rojo) y antocianos extraíbles (ApH 3,2, azul) en uvas de las parcelas de Tannat en los ciclos 2018-19 y 2019-20.

En cosecha el valor final de los indicadores de metabolitos primarios y secundarios, fueron clasificados, para cada parcela, en base a las categorías topográficas descritas en el cuadro 12. La concentración de SST mostró una relación negativa con la altitud, donde las parcelas en el bajo presentaron significativamente 13 g/l más que las parcelas en el alto. La diferencia en la concentración de azúcares se traduce en un aumento de 0,7 ° v/v de alcohol probable del vino. En cuanto a la acumulación de azúcares las parcelas siguieron la tendencia de la concentración, donde las zonas bajas presentaron el mayor nivel de SST expresado en g/ baya y en g/ g baya. Sin embargo, solo la última variable resultó en diferencias significativa. La acidez titulable en valores absolutos, de las uvas provenientes de las zonas altas registraron 0,3 g H₂SO₄ /l más comparado

a las zonas bajas, sin embargo, las diferencias no fueron significativas. El pH, no mostró diferencias significativas.

El ácido málico fue el metabolito que condicionó la acidez total (figura 19). La relación de los ácidos orgánicos con la topografía, mostró diferencias significativas entre la altitud y la cantidad de ácido málico presente en la uva en cosecha. Esta relación señaló que las parcelas ubicadas en zonas altas presentaron 1,4 g/l más de ácido málico comparado a las que se encontraban en zonas medias y bajas. El ácido tartárico, no se diferenció significativamente con ningún factor topográfico en evaluación.

Cuadro 12. Relación entre los componentes primarios y secundarios de baya de Tannat y la topografía donde se encontraban las parcelas bajo análisis. Diferencias analizadas por ANOVA (test de Tukey; p-valor < 0,05).

	Altitud*			Pendiente**		
	Alto	Medio	Bajo	3	2	1
SST (g/l)	232 b	238 ab	245 a	236 a	237 a	243 a
SST (g / baya)	0,356 a	0,349 a	0,369 a	0,372 a	0,369 a	0,343 a
SST (g / g baya)	0,211 b	0,215 ab	0,221 a	0,221 a	0,215 ab	0,209 b
pH	3,37 a	3,36 a	3,37 a	3,38 a	3,36 a	3,37 a
Acidez titulable (g H ₂ SO ₄ /l)	4,84 a	4,49 a	4,54 a	4,69 a	4,6 a	4,56 a
Rel SST / Acidez	4,94 a	5,38 a	5,45 a	4,91 a	5,28 a	5,45 a
Ácido málico (g/l)	9,75 a	8,30 b	8,38 b	8,58 a	9,15 a	8,48 a
Ácido tartárico (g/l)	3,60 a	3,64 a	3,55 a	3,77 a	3,42 a	3,70 a
t/m	0,37 a	0,44 a	0,42 a	0,44 a	0,38 a	0,44 a
IPT	56,7 b	53,8 b	61,2 a	54,5 b	56,5 b	62,6 a
ApH 1 (mg/l)	2716 b	2985 b	3423 a	3235 a	2695 b	3420 a
ApH 3,2 (mg/l)	1103 b	1124 b	1269 a	1246 a	1048 b	1264 a
%EA	57,2 b	62,2 a	62,8 a	61,5 a	59,2 a	62,8 a

*1=72-95, 2=96-117, 3=118-140 msnm. ** 1=0-5.8, 2=5.9-8.7, 3=8.8-11.6 (°).

El IPT se relacionó significativamente con la altitud y la pendiente. Las zonas bajas y con pendientes de categoría 1 (0 a 5,6°) presentaron un 10% más de IPT en comparación al resto de situaciones. El comportamiento de los antocianos potenciales

(ApH1) y de los fácilmente extraíbles (ApH3,2) fue similar, alcanzando las zonas bajas 707 mg/l a pH1 y 166 mg/l a pH3,2 más en relación a las zonas altas. La diferencia de antocianos se traduce en 21% a medido a pH1 y 13% a pH 3,2 a favor de las zonas bajas. Esta relación no concuerda con Mateus et al. (2002), donde encuentran que a mayor altitud hay más antocianos (150 msnm vs 300 msnm). En cuanto a la pendiente, las zonas medias presentaron significativamente menores antocianos a ApH1y a ApH3,2 que las pendientes altas y bajas (en promedio -632 mg/l a pH 1 y -207 mg/l a pH 3,2). El porcentaje de extractibilidad (%EA), se diferenció por las condiciones de altitud, siendo mejor la extractibilidad en las zonas altas.

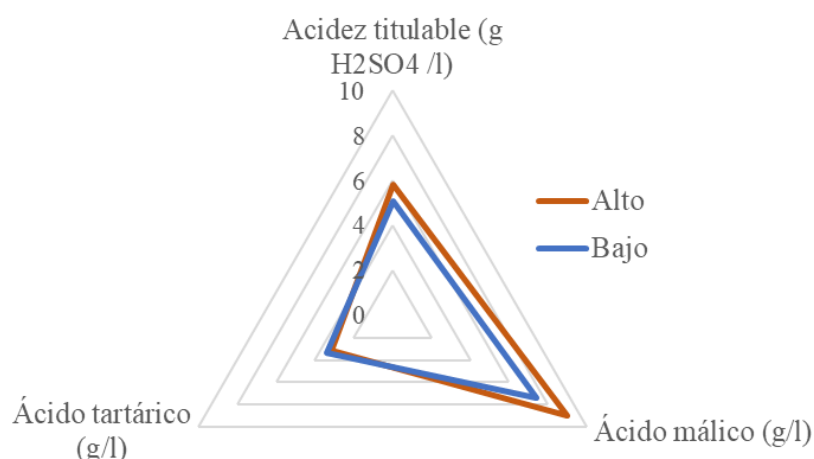


Figura 19. Relación entre la acidez titulable, el ácido málico y el ácido tartárico y las situaciones topográficas de las parcelas (zonas altas y bajas).

La evaluación de los metabolitos primarios AT y SST de la baya en función de las situaciones topográficas se muestra en la figura 20. El ciclo 2019-20 mostró mayores diferencias en SST, mientras que el 2018-19 en AT a nivel topográfico. El principal periodo donde se incrementan las diferencias es entre 21 y 36 días post E-L 34.

La concentración de SST en las zonas bajas evoluciona por encima de las zonas altas en ambos ciclos del cultivo. La diferencia fue máxima en 29 días post E-L 34 con una diferencia de 0,040 g/ baya. En cuanto a la AT, las zonas bajas disminuyeron su nivel a mayor ritmo que las zonas altas, principalmente en el ciclo 2018-19. La mayor diferencia entre condiciones topográficas se registró 21 días post E-L 34 con 1,0 g sulfúrico / l.

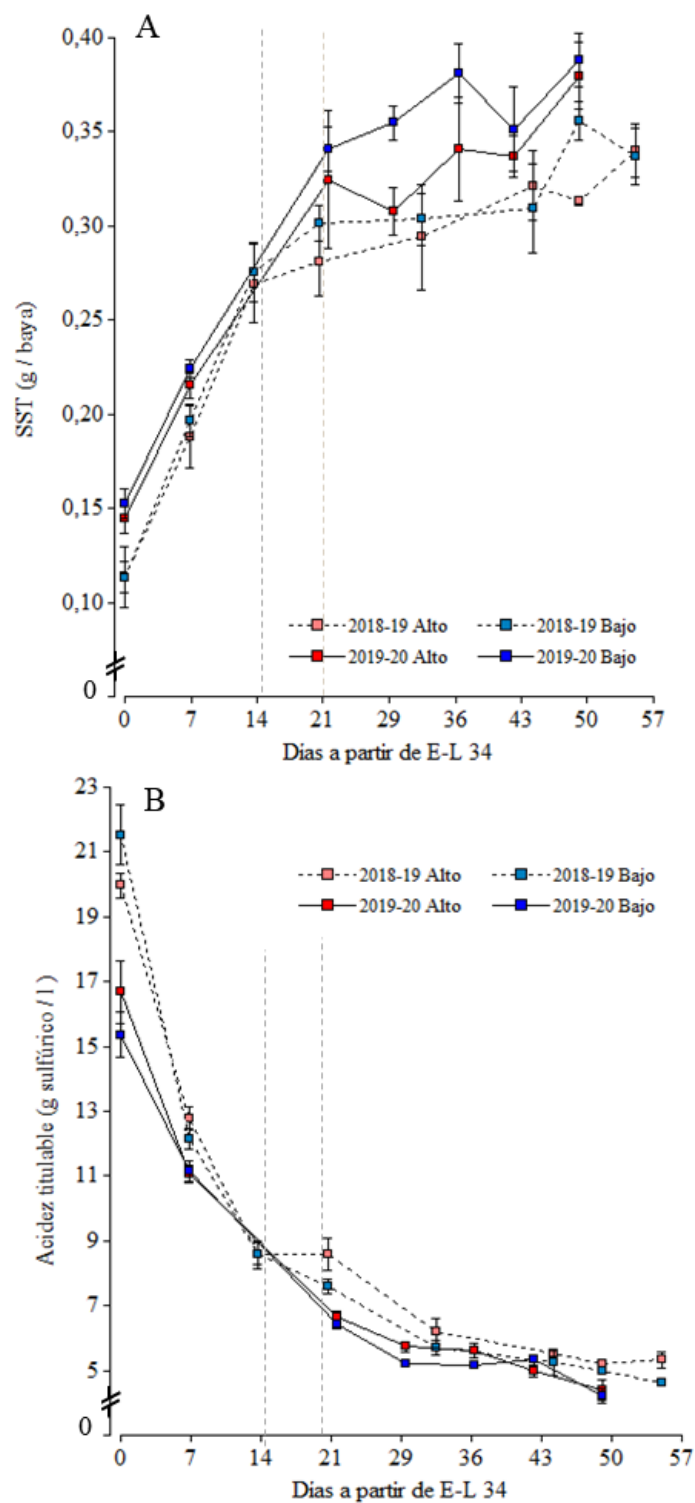


Figura 20. Evolución de A) acumulación de SST (g / l) y B) concentración de AT (g sulfúrico / l) para Tannat bajo las condiciones topográficas alto (rojos) y bajo (azules) para los dos años en estudio.

Al calcular la tasa de acumulación de SST y degradación de AT por día, se observa como las curvas presentaron una fase de acumulación/degradación acelerada (fase 1) al principio de la maduración. Esta fase transcurrió desde el envero (E-L 34) hasta 28 días luego en el ciclo 2018-19 y 21 días al año siguiente. Posteriormente la tasa disminuye hasta cosecha, para convertirse en un *plateau* (fase 2). En cuanto a los SST, el ciclo 2018-19 presentó una fase 1 a una tasa de 0,0085 g/baya día mientras que el ciclo 2019-20 para el mismo periodo presentó una tasa de 0,0065 g/baya día, sin embargo, el ciclo el ciclo 2019-20 presentó una fase 1 más dilatada en el tiempo mientras que el año anterior fue más abrupta. En cuanto a la fase 2, ambos ciclos presentaron una tasa de 0,0025 g/ baya día. En referencia a las situaciones topográficas, las zonas bajas presentaron en ambos años una tasa de acumulación de 0,001 g/baya día mayor a las zonas altas en fase 1 y fase 2 (figura 21).

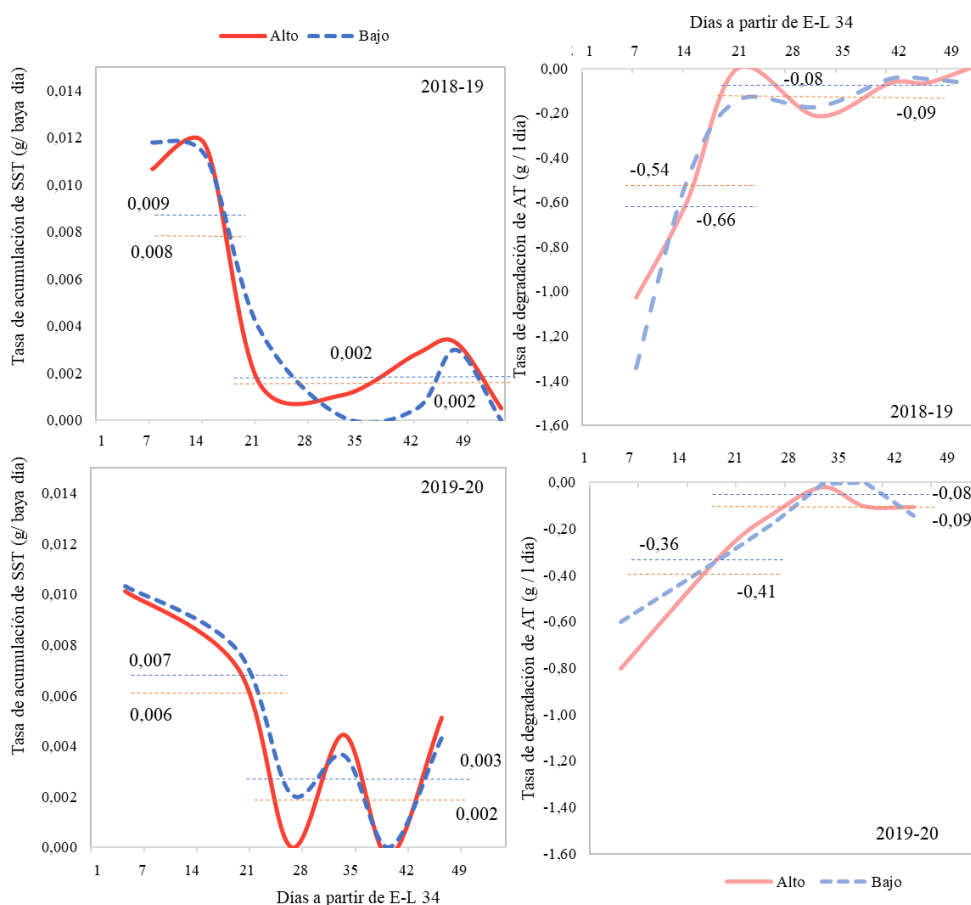


Figura 21. Evolución de la tasa de acumulación de SST (g/baya/día) y tasa de disminución de acidez (g/l/día), en función a las condiciones topográficas.

En cuanto a la tasa de degradación de AT por día el ciclo 2018-19 presentó en fase 1, una tasa de $-0,60$ g /l día y acotada en el tiempo, mientras que la tasa de degradación en el 2019-20 fue $-0,39$ g/l día, pero dilatada en el tiempo ya que el envero comenzó una semana antes. La comparación en función a la topografía, en fase 1, el ciclo 2019-20 fueron las zonas bajas las que degradaron a mayor tasa ($-0,66$ vs $-0,54$ g/l día), mientras que al año siguiente fueron las condiciones altas las que degradaron a mayor tasa, pero registrando una diferencia menor ($-0,41$ vs $-0,36$ g/l día). En el periodo de fase 2, las condiciones altas y bajas presentaron ambos años una tasa de $-0,09$ y $-0,08$ g/l día respectivamente.

La evolución del perfil de antocianos según las categorías contrastantes de altitud (alto y bajo) registrado para el ciclo anual 2018-19 se muestran en la figura 22. Las zonas bajas acumularon mayor nivel para todos los tipos de antocianos en comparación a las zonas altas. La malvidina, petunidina y delfinidina mostraron un descenso a cosecha (57 días post E-L 34) para las dos condiciones topográficas. Sin embargo, la peonidina y la cianidina en las condiciones de baja altitud no mostraron este descenso y siguieron en aumento hasta cosecha.

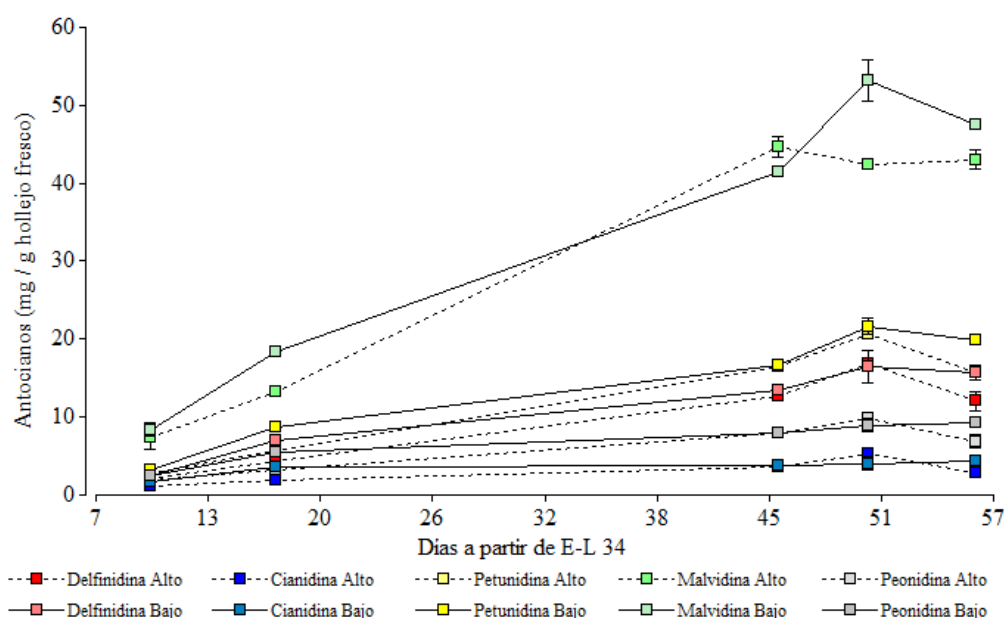


Figura 22. Evolución del perfil de antocianos (mg / g hollejo) según clase topográfica para el ciclo anual de 2018-19.

La proporción de los diferentes antocianos en la uva a 50 y 56 días post E-L 34 en función de la altitud se muestra en la figura 23. Las zonas altas a los 56 días aumentaron su proporción de malvidina en detrimento de los 4 restantes antocianos en comparación a los 50 días luego de envero. En las zonas bajas ocurrió lo opuesto, fue la malvidina el antociano que redujo su proporción en la composición. La mayor proporción cianidina, peonidina, petunidina y delfinidina se vio en las zonas altas a 50 días post envero con (5,5, 10,4, 21,7 y 17,8 % respectivamente).

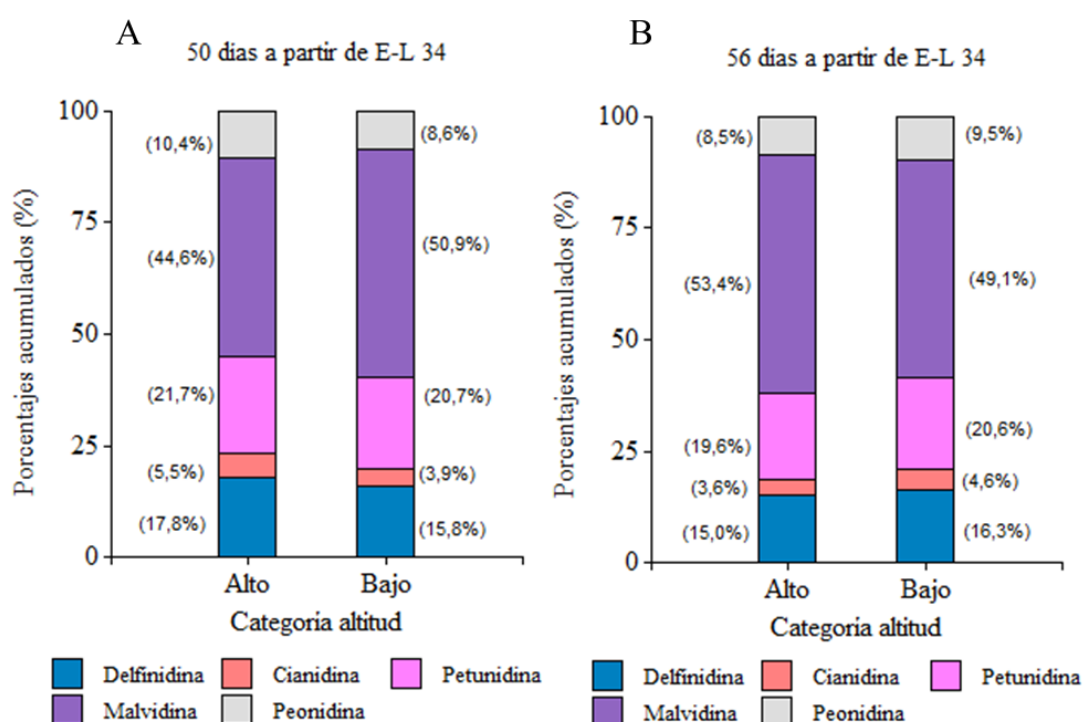


Figura 23. Proporción (%) del tipo de antocianos a A) 50 días post E-L 34 y B) 56 días post E-L 34 en función a las condiciones topográficas de altitud para el ciclo 2018-19.

3.5.5 Análisis multivariado de la respuesta de la planta al clima

El análisis de ACP en base a los metabolitos de baya sólidos solubles, acidez titulable, pH, ácido málico, ácido tartárico, IPT, ApH1 y ApH3,2 y los parámetros de rendimiento número de racimos por planta y peso de baya de las parcelas en base a las categorías topográficas de altitud la figura 24. El eje 1 representa la mayor proporción

de variabilidad con 64,6%. Sobre el eje se correlacionan los sólidos solubles con: la TA ($r = 0,98$; $p = 0,14$), TmaxS ($r = 0,96$; $p = 0,17$) e inversamente relacionado con CNI ($r = -0,97$; $p = 0,16$). De la misma manera, los Aph1 se relacionan con la TA ($r = 0,99$; $p = 0,01$), TmaxS ($r = 0,99$; $p = 0,04$) e inversamente relacionado con CNI ($r = -0,99$; $p = 0,03$). Ambos compuestos son ligados con las zonas geográficamente bajas. La acidez titulable aparece inversamente relacionada a ND30 ($r = -0,96$; $p = 0,19$) y HI ($r = -0,99$; $p = 0,04$). Mientras que el málico es el principal ácido orgánico relacionado con la acidez titulable ($r = 0,99$; $p = 0,09$). La condición geográfica asociada con la acidez son las zonas altas. Sobre el eje 2, representante del 35,4% de la variabilidad, se distancian de las primeras dos situaciones geográficas, las zonas de altitud media. Los principales indicadores asociados son el pH y HI, los cuales presenta una correlación entre sí de $r = 0,87$ y $p = 0,34$.

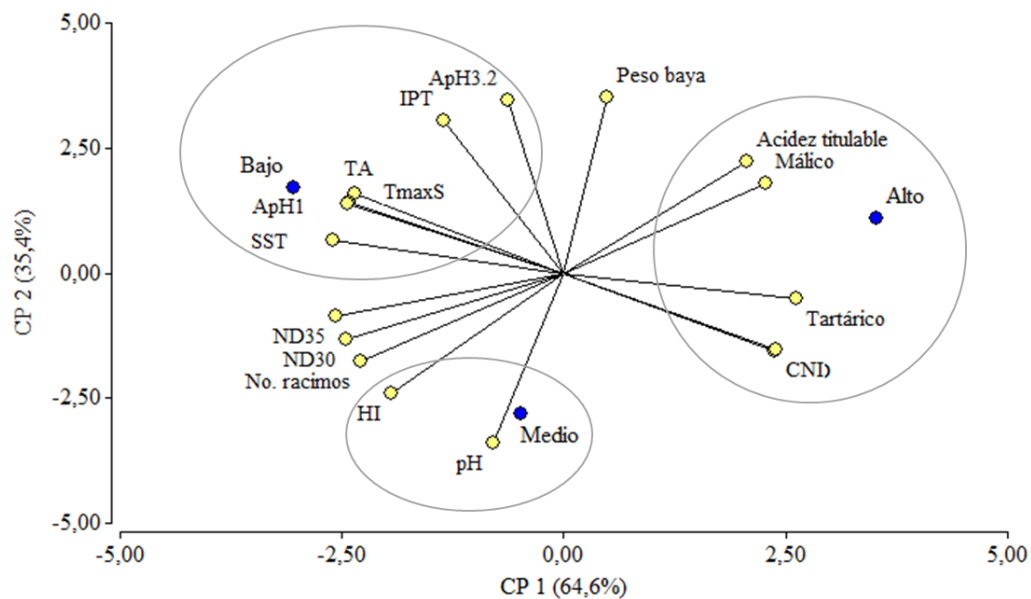


Figura 43. Análisis de Componentes Principales (ACP) de los parámetros metabólicos de baya y componentes agronómicos en relación a las categorías topográficas de Altitud.

El análisis de cluster y el análisis de componentes principales en base a la composición de la uva (sólidos solubles, acidez titulable, pH, peso de baya, IPT y ácido málico), los bioíndices adaptados al cultivo de la vid (CNI, GDD, HI, ND30, TmaxS y TA) y la topografía (altitud y pendiente) se muestra en la figura 25. La división en 3 grupos

muestra en el primero a las parcelas 18 y 19. Este grupo, es discriminada principalmente por presentar mayores valores de antocianos e IPT. El segundo grupo compuesto de las parcelas 12 y 17 se asocia a TmaxS y ND30. El tercer grupo formado por las parcelas 11, 13, 14, 15 y 16 hace referencia a zonas altas con elevado nivel de ácido málico y bajo nivel de ApH1.

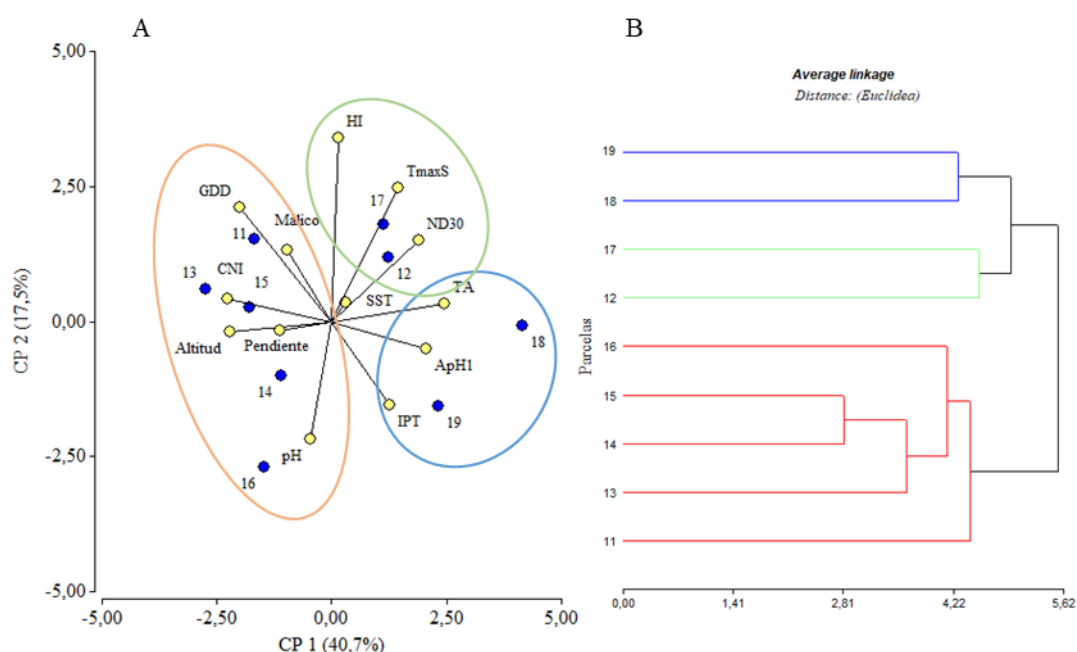


Figura 25. Análisis de componentes principales (A) y análisis de cluster (B) en base a la composición de la uva (sólidos solubles, acidez titulable, pH, peso de baya, IPT y ácido málico), los bioíndices adaptados al cultivo de la vid (CNI, GDD, HI, ND30, TmaxS y TA) y la topografía (altitud y pendiente).

3.6 RESULTADOS: EVALUACIÓN EN ALBARIÑO

3.6.1 Respuesta fenológica y estatus hídrico de la planta

El desarrollo fenológico y el estatus hídrico, fueron evaluados en Albariño, en función a la variabilidad espacial (topografía) y temporal (años) en la zona atlántica de Uruguay.

3.6.1.1 Evolución fenológica

En 2018-19 la brotación comenzó a partir del 27/8, mientras que en el ciclo 2019-20 lo hizo del 13/9. El ciclo 2018-19 determinó una brotación más avanzada, alcanzando una semana antes la floración comparada al ciclo 2019-20. La floración en el 2018-19 se registró entre el 5/11 y 12/11 y el siguiente año sucedió entre el 9/11 y 16/11. El avance del desarrollo fenológico del 2018-19 se vio retrasado luego de la floración para llegar a envero una semana después que el ciclo 2019-20. El 50 % de envero ocurrió el 21/1, mientras que el año 2019-20, se registró el 14/1, una semana antes al ciclo previo (figura 26).

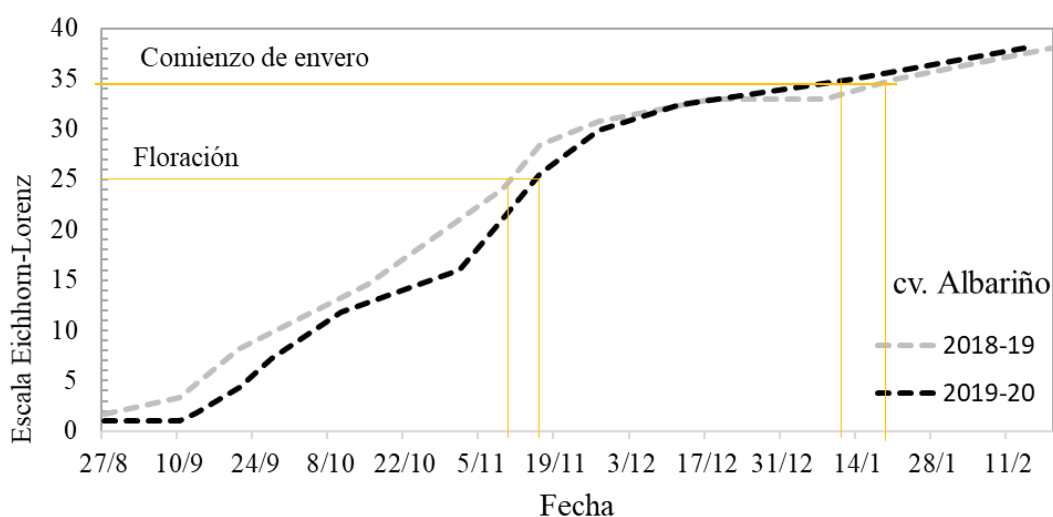


Figura 26. Evolución de la fenología en Albariño en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20 según escala de Eichhorn-Lorenz modificada en Coombe (1995).

El promedio de días de ambos años para alcanzar los diferentes estados fenológicos se describe en el cuadro 13. Albariño necesitó para alcanzar la madurez tecnológica, en promedio dos vendimias 167 días y 1543 GDD. En la distribución por etapas, la fase de B-F fue la que varió más entre años diferenciándose en 14 días. Sin embargo, el pasaje de un estado a otro, se relacionó estrechamente con la acumulación de GDD, en comparación al número de días. Esto se puede observar en el CV menor a 5% para el valor de GDD. La evolución fenológica no mostró diferencias estadísticas significativas en cuanto a las condiciones topográficas de altitud y exposición.

Cuadro 13. Descripción de días y GDD registrados para el pasaje de los diferentes periodos del desarrollo de Albariño en los ciclos 2018-19 y 2019-20.

	2018-19		2019-20		Promedio			
	días	GDD	días	GDD		días	CV	GDD
B-F	66	385	52	370	59	16,8	377	2,8
F-E	73	747	68	766	71	6,06	757	1,8
E-C	37	397	37	421	37	0	409	4,2
Ciclo	176	1529	157	1557	167		1543	
No. días								
Ene. a C	50		45		48			
GDD por día E-C		10,7		11,4			11	

B= brotación, F=floración, E=envero, C= cosecha, Ene= enero.

3.6.1.2 Estatus hídrico

El nivel de hidratación de la planta evolucionó diferente entre los años en estudio (cuadro 14). Ambos ciclos mostraron déficit leve en el período de floración (E-L 25). Durante el periodo entre cuajado (E-L 27) y cierre de racimo (E-L 33), el ciclo 2019-20 continuó con déficit leve, sin embargo, se volvió más intenso en el momento de comienzo de envero (E-L 34), alcanzando la categoría de déficit leve a moderado con valores promedio de -3,0 bar. Situación inversa ocurrió en el ciclo 2018-19, donde las plantas partieron de una situación de déficit leve en cuajado para llegar a E-L 34 con déficit nulo. Post envero (E-L 34 en adelante), ambos ciclos llegaron a mostrar niveles de estrés leve a moderado. Aun así, el ciclo 2018-19 donde las plantas llegaron con estrés nulo (-0,2 bar) pero rápidamente en 10 días decayó a estrés leve a moderado (-3,7 bar).

Cuadro 14. Valores promedio del potencial hídrico foliar de base (bar) de Albariño, evaluado en floración (e25), cierre de racimo (e33), envero (e34) y pre cosecha (e37).

Media	Ψ_{base} (bar) E-L 25	Ψ_{base} (bar) E-L 33	Ψ_{base} (bar) E-L 34	Ψ_{base} (bar) E-L 36
Año				
2018-19	-2,5	0,0	-0,2	-3,7
2019-20	-2,3	-1,0 **	-3,0**	-3,8

**Diferencias significativas entre años (ANOVA; p-valor < 0,05)

El estatus hídrico discriminado por parcelas se muestra en la figura 27. Las parcelas solo se diferenciaron en el E-L 36 para ambos años. La parcela más hidratada para ese estado en el 2018-19 fue la 3 (-2,8 bar). Sin embargo, la misma fue la más deshidratada en el 2019-20 con -4,7 bar.

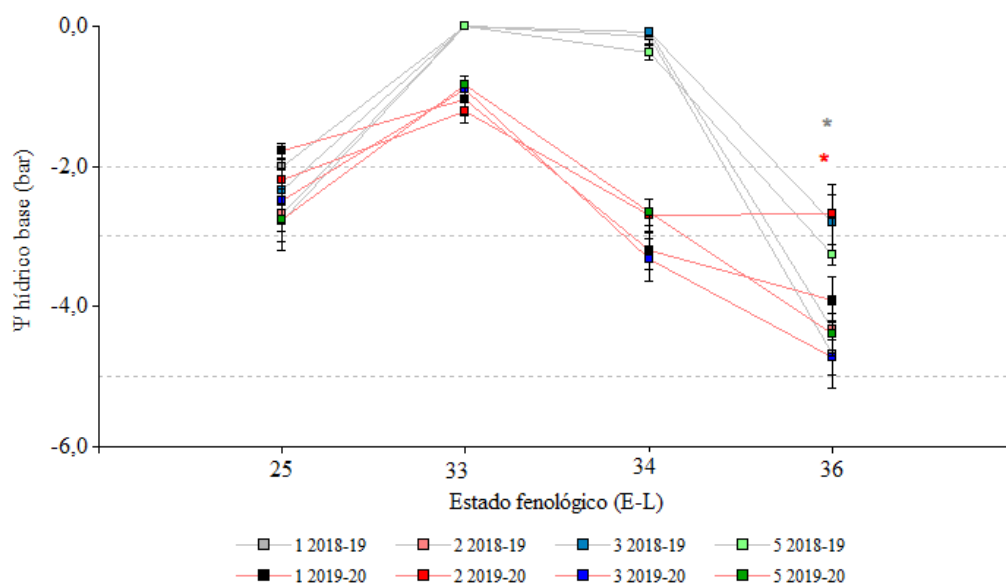


Figura 27. Evolución del estatus hídrico (bar) de las parcelas de Albariño en los ciclos 2018-19 (líneas grises) y 2019-20 (líneas rojas). *Diferencias significativas entre parcelas con ANAVA (p-valor <0,05).

3.6.2 Componentes del rendimiento: fertilidad de yemas, producción y composición de racimo y baya

3.6.2.1 Fertilidad de yemas

El resultado de la evaluación del número de brotes por planta, inflorescencias por planta y promedio de inflorescencias por brote para ambos ciclos se muestra en el cuadro 15. El ciclo 2018-19 presentó 1,2 brotes/pl más comparado al siguiente ciclo vegetativo. Sin embargo, de un objetivo inicial de 32 yemas por planta pretendidas en la poda, el promedio de yemas brotadas fue de 15,2 en 2018-19 y 13,8 en 2019-20. Del resultado no se discriminaron yemas no brotadas, cargadores con menos yemas y falta de cargadores.

Cuadro 15. Evaluación de la fertilidad de yemas en Albariño para los ciclos 2018-19 y 2019-20

	2018-19	DE	2019-20	DE
Brotes (pl)*	15,2**	6,6	13,8	6,3
Inflorescencias (pl)	20,3	11,6	20,0	10,5
Inflorescencias/brote	1,3	0,5	1,5	0,4

* brotes principales dejados en la poda. ** Diferencias estadísticas entre años p-valor <0,05

El número de inflorescencias por planta fue de 20,3 en el año 2018-19 y de 20,0 en el 2019-20. Sin embargo, el desvío estándar de 11,6 inflorescencias/planta el primer año y 10,5 el segundo, señala una alta variabilidad a nivel de parcela.

El número de inflorescencias por brote fue similar para ambos años, con valores promedio de 1,3 el ciclo 2018-19 y 1,5 inflorescencias/brote al siguiente año. La distribución de la fertilidad de yemas a lo largo del cargador se presentó en aumento hacia las yemas apicales (Figura 28). La fertilidad de las yemas basales fue cercana o menor a 1 racimo/brote, mientras que las yemas apicales alcanzaron en su mayoría 2 racimos por brote.

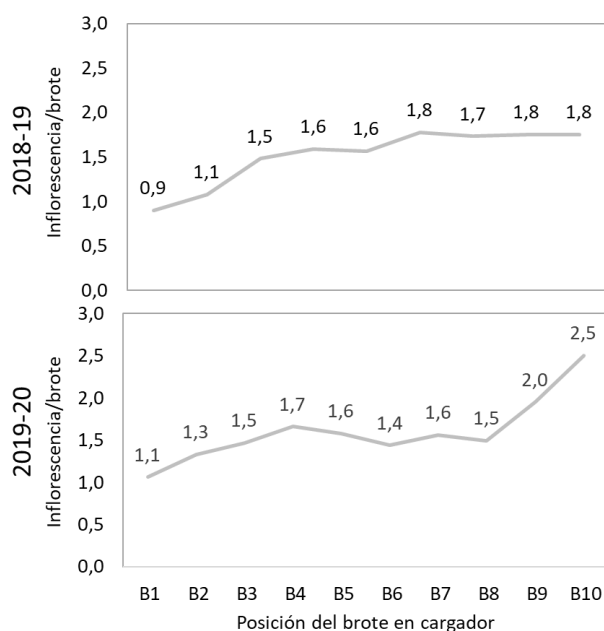


Figura 28. Evolución de la fertilidad de yemas a lo largo del cargador para Tannat y Albariño en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20.

La fertilidad de yemas medida a través del número de inflorescencias, fue evaluado en los diferentes cuadros y al ordenar las parcelas en las diferentes categorías topográficas, se observó que las zonas altas presentaron en promedio 5 inflorescencias por planta menos que las zonas bajas (figura 29). Por otra parte, las inflorescencias por planta fueron significativamente mayor en las direcciones de fila N-S en relación a E-O y SO-NE. La diferencia fue de 5 inflorescencias/planta con la orientación E-O y 7 inflorescencias/planta con la SO-NO (figura 47). La pendiente no registró diferencias significativas.

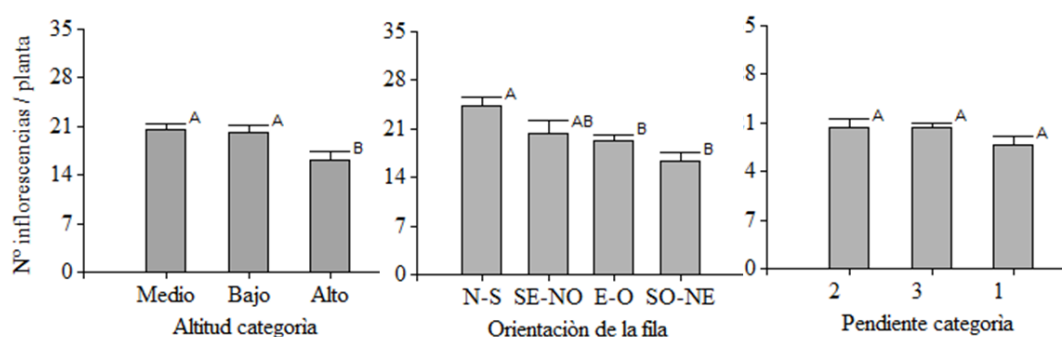


Figura 29. Relación entre número de inflorescencias por planta de Albariño y condiciones topográficas de las parcelas. Diferencias analizadas por ANOVA (test de Tukey; p-valor < 0,05).

3.6.2.2 Producción de uva, características del racimo y de la baya

La producción por planta entre ciclos oscilo los 2,0 kg, sin diferencias estadísticas entre años. Por otra parte, los indicadores de peso de racimo y número de racimo tampoco registraron variaciones entre zafas. El comportamiento entre años en cuanto al peso de baya mostró al periodo 2019-20 con el mayor valor (1,29 g). También el ciclo 2019-20, presentó el mayor número de bayas por racimo, registrando en promedio 18 bayas más. El índice de compacidad medido de racimos, no mostró diferencias significativas entre años, siendo según la categoría de compacidad media (cuadro 16).

Cuadro 16. Valores de producción, características de racimo y de baya obtenidos en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20.

	2018-19	DE	2019-20	DE
Rendimiento (g/pl)	1933	1018	2004	986
Peso de racimo (g)	78	26	89	25
No. de racimos (pl)	25	14	22	11
Bayas por racimo (n°)	75	23	93**	31
Índice de compacidad	3,0	0,9	2,8	1,1
Peso de baya (g)	1,19	0,09	1,29 **	0,14
Peso hollejo (g / g baya)	0,11	0,02	0,14	0,03
Pulpa (%) *	86	3	84	8
Hollejo (%) *	9	3	11	3
Semilla (%) *	5	1	5	1
Semillas/baya	1,99	0,24	1,99	0,25

**Diferencias estadísticas entre años p-valor <0,05 *Porcentaje del peso fresco de baya.

La evolución del peso de baya para ambos años se muestra en la figura 30. A comienzo del envero (E-L 34), en el ciclo 2018-19 presentó un 92% de su tamaño en relación al de cosecha. En ese año el máximo de peso fue de 1,28 g y se dio 14 días post envero. Con respecto al momento de máxima expansión en cosecha perdió 0,10 g (10%). Al siguiente año, en el estado E-L 34 presentó un 80% de su peso final de baya, siendo su máximo peso de 1,32 g en cosecha (24 días post envero), por lo tanto, no mostró pérdida de peso durante la maduración. En la zafra 2019-20, una vez alcanzado el punto máximo de crecimiento posterior al envero, se mantuvo estable el resto de la maduración. El comportamiento, en el ciclo 2018-19 muestra una caída de 0,1 g /baya a partir de 7 post E-L 34 hasta cosecha.

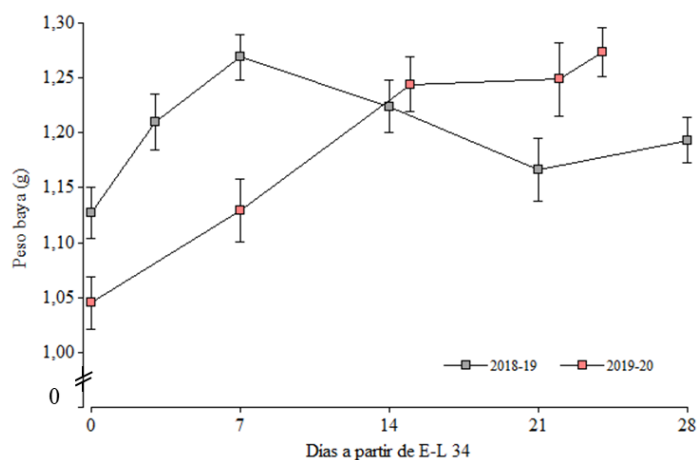


Figura 30. Evolución del peso de baya de Albariño para el ciclo 2018-19 (gris) y 2019-20 (rojo).

El desglose de la relación entre los diferentes componentes del rendimiento se muestra a continuación en la figura 31. Se presenta una fuerte correlación entre el número de bayas y el peso del racimo ($r^2 > 0,87$), sin diferencias estadísticas con el peso de la baya. En cuanto al peso del racimo y el número de los mismos, presentó correlaciones diferenciales entre años para la obtención del rendimiento final. En el 2018-19 cobró mayor relevancia el número de racimos ($r^2 = 0,97$), no siendo significativo el peso. En el siguiente año, se invirtieron las correlaciones, arrojando un mayor vínculo entre el peso del racimo y la producción ($r^2 = 0,69$). Entre el número y peso de racimos no se registró correlación. El peso de bayas se mostró negativamente correlacionado al número de las mismas solo el ciclo 2018-19 ($r^2 = 0,63$).

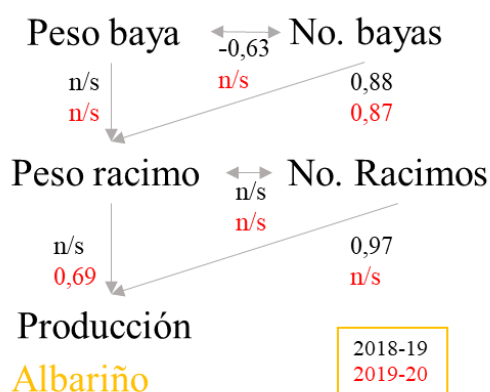


Figura 31. Diagrama de componentes del rendimiento y sus correlaciones (Person; p-valor $<0,05$) en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20.

La variabilidad espacial (parcelas) de los valores de producción se muestra en la figura 32. Las parcelas con mayores producciones medias fueron la 1, 4 y 6 con 2487, 2531 y 2604 g/pl respectivamente. Las parcelas 9 y 10 registraron el menor valor con 1537 y 1650 g/pl respectivamente.

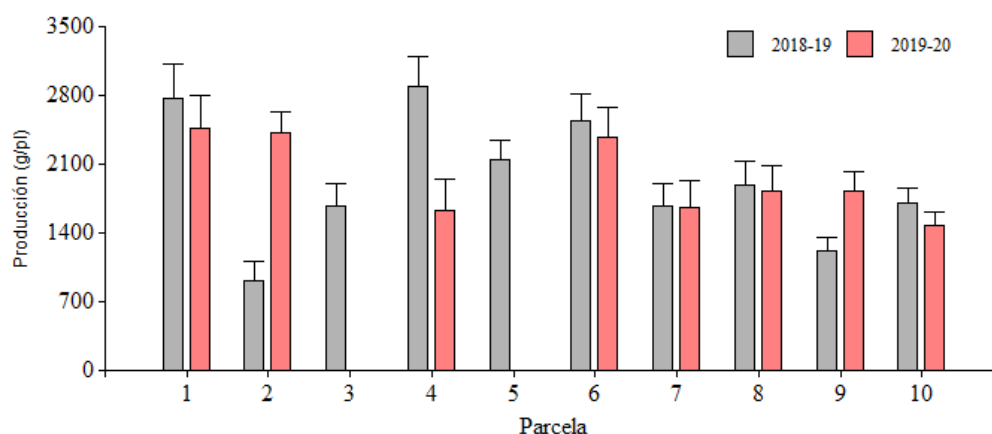


Figura 32. Distribución de la producción de las parcelas de albariño en los ciclos 2018-19 (gris) y 2019-20 (rojo). Sin dato producción parcela 3 y 5 para 2019-20.

En cuanto a la interacción del mesoclima con la producción, al igual que la fertilidad de yemas, el resultado se observa nuevamente en cosecha, donde el rendimiento y el número de racimos por planta se encuentra ligado a la orientación de la fila. Las parcelas con dirección N-S obtuvieron aproximadamente 500 g más por planta que las orientaciones E-O (cuadro 17).

Cuadro 17. Relación entre la producción de uva (g/pl) y el número de racimos por planta con la orientación de la fila.

	Orientación de la fila			
	N-S	E-O	SO-NO	SE-NO
Producción (g/pl)	2466 a	1947 b	1679 b	1673 b
No. racimos (No. /pl)	30,7 a	22,8 b	22,8 b	18,6 b

Letras diferentes entre parcelas, diferencias significativas entre parcelas (ANOVA; test de Tukey; p-valor < 0,05).

La evolución del peso discriminado por condiciones se puede observar en la figura 33, donde la mayor variabilidad se pudo apreciar en el ciclo 2018-19. La diferencia fue

máxima a 7 días a partir de E-L 34, alcanzando un 10% entre las uvas de las zonas bajas (1,3 g) en comparación a las uvas de las zonas altas (1,18 g). La diferencia disminuyó a cosecha, representando una variación de 6% entre situaciones geográficas.

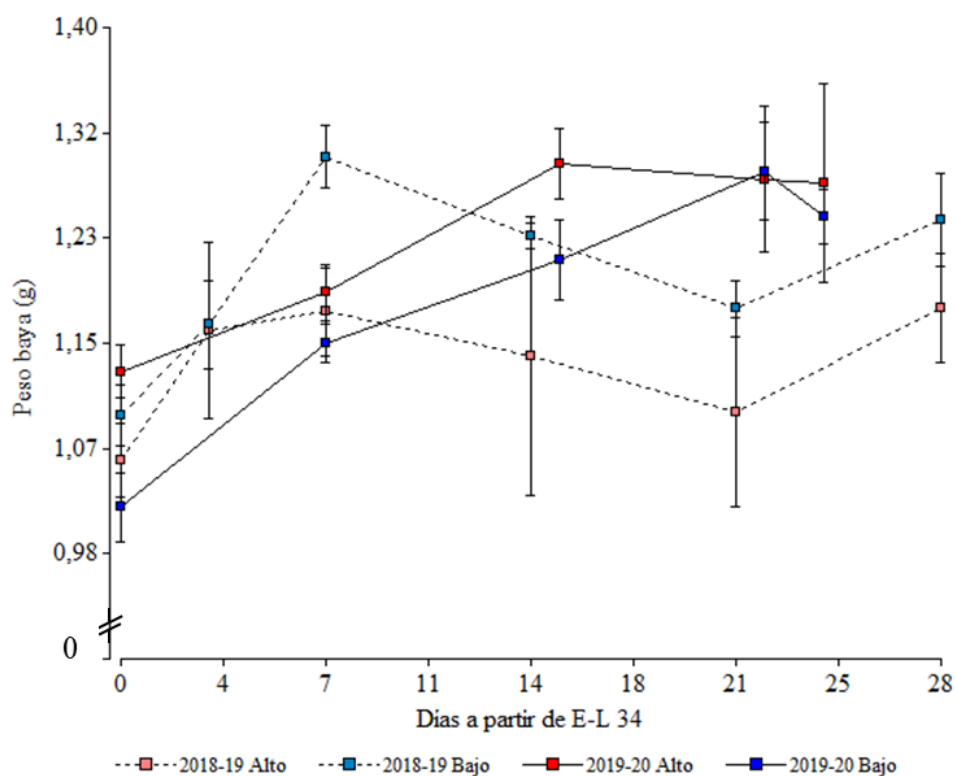


Figura 33. Evolución del peso de baya en situaciones topográficas altas (rojo) y bajas (azul) para los ciclos 2018-19 (líneas punteadas) y 2019-20 (líneas continuas).

3.6.3 Desarrollo foliar, peso de poda e indicadores de equilibrio de la planta

El crecimiento vegetativo mostró diferencias entre ciclos anuales observados en: la SFep (+ 0,23 m²/pl), peso de poda (+ 72 g/pl) y el porcentaje de racimos expuestos (+ 11%) a favor del 2018-19. El número de capas de hojas no varió entre años (cuadro 18). En cuanto a valores de equilibrio (IR y SFep/producción) no mostraron diferencias entre añadas.

Cuadro 18. Descripción del desarrollo foliar, peso de poda, producción y equilibrio fisiológico de la planta de vid para los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20.

	2018-19	DE	2019-20	DE
Rendimiento (g/pl)	1933	1018	2004	986
Peso de poda (g/pl)	736**	347	664	286
SFEp (m2/pl)	1,45**	0,2	1,23	0,02
Capas de hoja (no.)	2,5	0,4	2,4	0,5
Racimos expuestos (%)	24**	18	13	7
Índice de Ravaz	3,9	2,6	3,2	1,7
SFEp/producción	0,8	0,3	0,6	0,1

** Diferencias significativas entre años con ANAVA (p-valor < 0,05).

La distribución de la SFEp por sitios muestra como la parcela 3 registró significativamente el menor valor con una media entre años de 1,05 m2/pl. El valor se presenta 0,33 m2/pl por debajo de la parcela 1 y 0,45 m2/pl de la a 5, mayor valor de SFEp de las parcelas bajo estudio (figura 34).

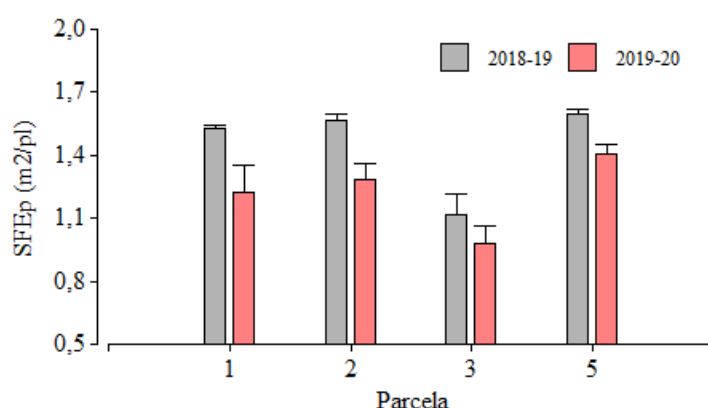


Figura 34. Registro de la Superficie Foliar Expuesta Potencial (SFEp) para parcelas ubicadas en situaciones topográficas contrastantes en los ciclos 2018-19 y 2019-20.

En cuanto a la distribución parcelaria del peso de poda e IR, la parcela que arrojó el mayor valor de madera del año fue la 4 con 1157 g/pl y la parcela con el menor valor fue la 3 con 415 g/pl. La parcela que en promedio presentó el menor IR es la 4 con 2,6 y la mayor fue la parcela 6 con 3,9 (figura 35).

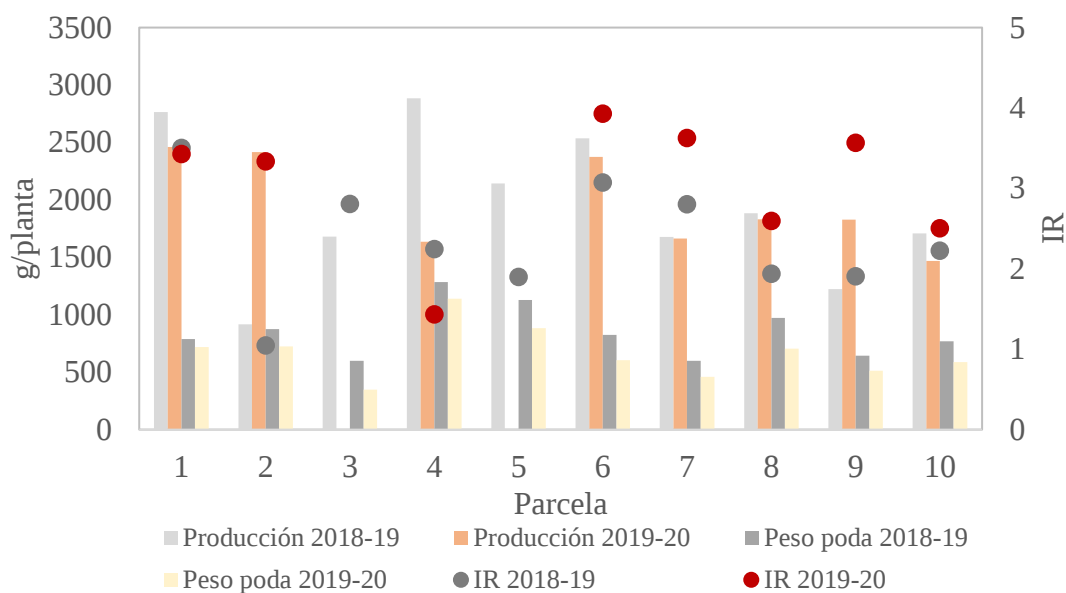


Figura 35. Valores de producción, peso de poda (barras) e IR (puntos) para las diferentes parcelas en los ciclos 2018-19 y 2019-20.

La incidencia de enfermedades, asociado a la respuesta de la planta al ambiente, principalmente de *Botrytis cinerea*, para ambas zafra se registró 0% de racimos afectados.

3.6.4 Metabolitos primarios y secundarios de uva

3.6.4.1 Variabilidad temporal

La composición química de la baya fue evaluada a lo largo de la maduración y en cosecha (E-L 38). El registro de los valores de azúcares (g/l, g / baya y g / g baya), pH y acidez titulable expresado en ácido sulfúrico (g H₂SO₄/l) se muestran en el cuadro 19.

Se registraron diferencias significativas entre años para la concentración y acumulación de azúcares. El ciclo 2019-20 logró 11 g/l, 0,032 g/ baya y 0,009 g/g baya más que el ciclo 2018-19. La diferencia en la acumulación de azúcares se traduce en un aumento de 0,5° v/v de alcohol probable. El pH y la acidez titulable no se diferenciaron estadísticamente entre años.

Los ácidos orgánicos y el IPT fueron analizados en cosecha. La mayor concentración de ácido tartárico y málico fue en la vendimia 2018-2019, comparado al periodo 2019-20 (+0,9 mg tartárico/l y +2,9 mg málico/l) . La relación tartárico/málico se mostró invariable en ambos años entre valores de 0,41 y 0,45. La concentración de fenoles arrojó una diferencia significativa de 7,6 IPT a favor del año 2019-20.

La variabilidad dentro de un mismo año evaluada en el DE, fue el 2018-19 el que presentó mayor variabilidad en los indicadores ácido tartárico, ácido málico e IPT, mientras el que el ciclo 2019-20 mostró mayor variabilidad en los valores de SST (g/l, g/baya y g/g baya) y pH.

Cuadro 19. Valores promedio de metabolitos primarios y secundarios de la uva de Albariño en cosecha (E-L 38), para los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20.

	2018-19	DE	2019-20	DE
SST (g/l)	219	5	230**	7
SST (g/baya)	0,239	0,019	0,271**	0,033
SST (g /g baya)	0,202	0,005	0,211**	0,008
pH	3,21	0,04	3,17	0,06
Acidez titulable (g H ₂ SO ₄ /l)	5,2	0,8	5,2	0,8
Rel. SST (°brix) / Acidez titulable	4,3	0,7	4,5	0,7
Ácido tartárico (g/L)	3,7**	0,8	2,8	0,3
Ácido málico (g/L)	9,3**	1,2	6,4	1,0
Rel. tartárico/málico	0,41	0,14	0,45	0,06
IPT (A280)	28,0	6,5	35,6**	6,4

**Diferencias estadísticas entre años p-valor <0,05

En las figuras 36 se encuentran la evolución de sólidos solubles (g/baya), acidez titulable (g H₂SO₄/ l) y en los ciclos 2018-19 y 2019-20. La zafra 2018-19 mostró un enlentecimiento de la acumulación de SS a los 14 días post E-L 34, la cual no recuperó en cosecha. Al siguiente ciclo, la acumulación de SST no se enlenteció en todo el periodo de maduración hasta el momento de cosecha 23 días post E-L 34.

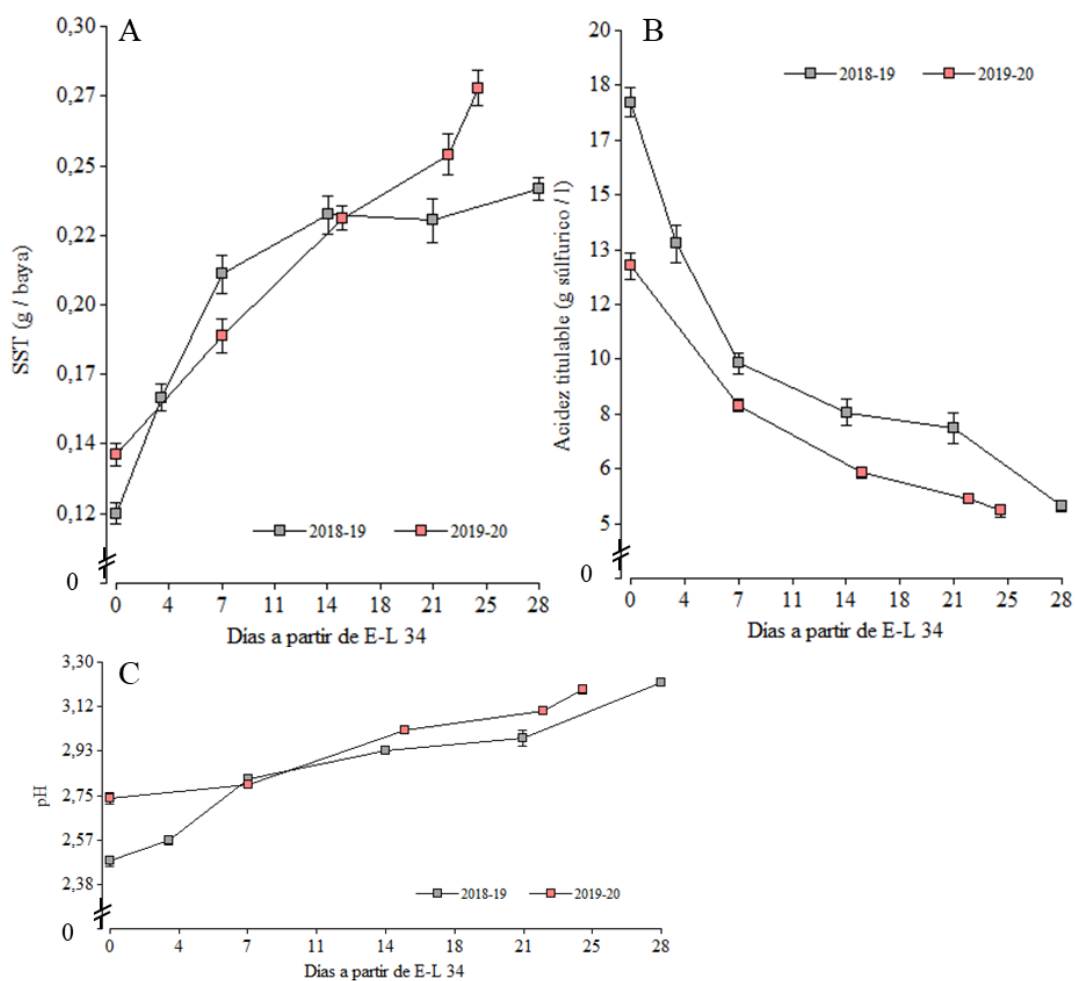


Figura 36. Evolución de la A) Sólidos solubles (SST; g/baya), B) acidez titulable (g sulfúrico / l) y pH en Albariño para los ciclos 2018-19 (gris) y 2019-20 (rojo).

En la figura 37, se muestra la evolución de los fenoles de hollejo para el ciclo anual 2018-19 (figura 37 A) y la evolución del IPT para el ciclo 2019-20 (figura 37 B). Ambas mediciones muestran un nivel estable de los fenoles a lo largo de la maduración de la uva.

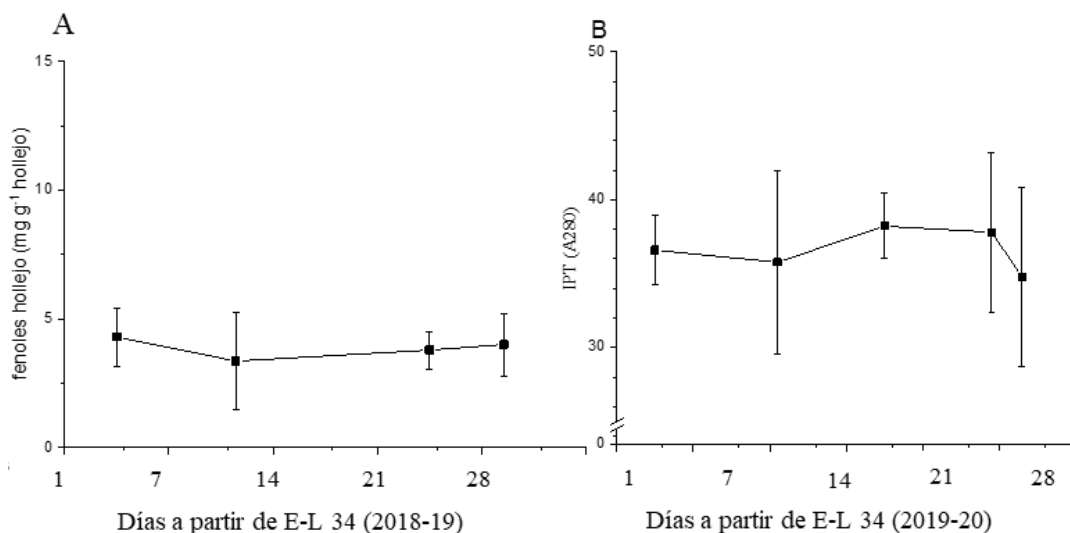


Figura 37. Seguimiento de la evolución del contenido de Fenoles para Albariño. A) fenoles de hollejo en 2018-19, B) Índice de polifenoles totales (IPT) para 2019-20.

3.6.4.2 Variabilidad espacial e interacción con la variabilidad temporal

La variabilidad espacial de los metabolitos primarios de baya muestra que la parcela con mayor acumulación de SST fue la 5 con 0,273 g/baya, mientras que la 3 fue la que acumuló menos con 0,231 g/baya. La mayor variabilidad entre años la presentaron las parcelas 6 y 8. La parcela con mayor concentración de ácidos fue la 2 con 6,05 g sulfúrico/l y la menor la parcela 10 con 3,9 g sulfúrico/l. La mayor variación de la acidez se observó en las uvas provenientes de las parcelas 2, 3 y 8. En cuanto al pH más ácido lo registró la parcela 2 con 3,14 y el más básico la parcela 8 con 3,27. El pH que varió más fue en la parcela 5 (figura 38).

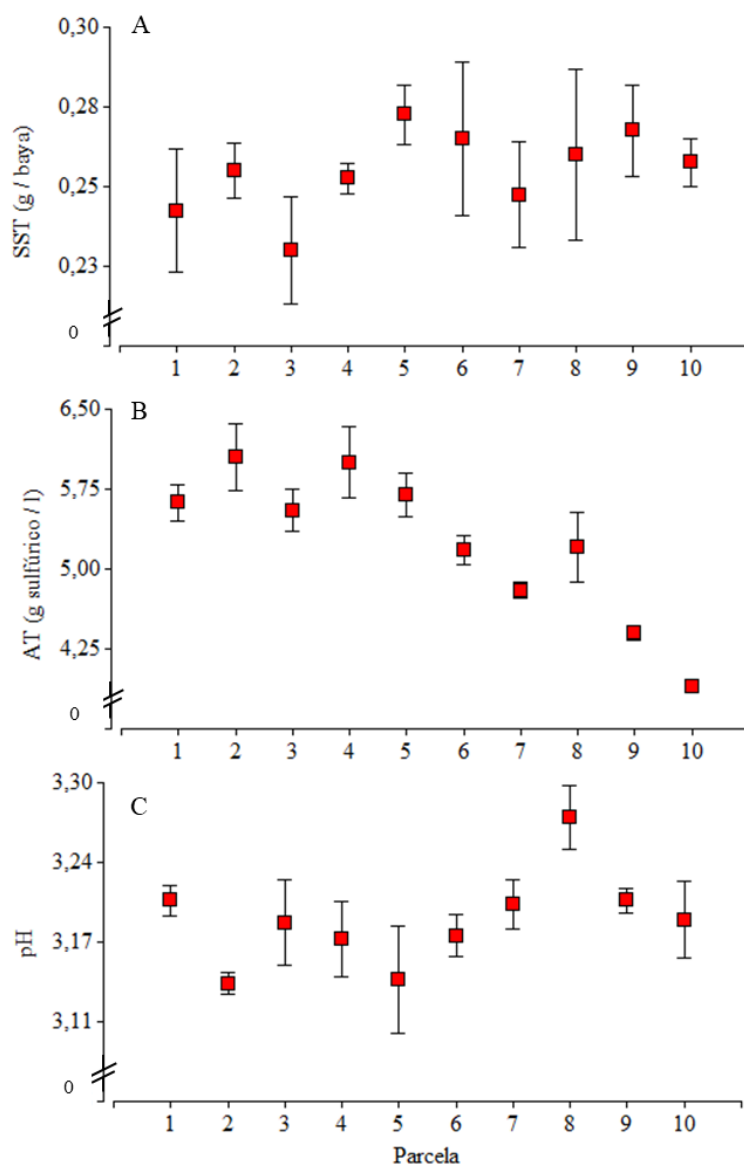


Figura 38. Resultado promedio y desvío estándar de A) sólidos solubles (SST, g/baya) B), acidez titulable (g H₂SO₄ / l) y C) pH de baya para las parcelas de Albariño, medido en los ciclos productivos 2018-19 y 2019-20.

La parcela que presentó mayor nivel de ácido málico (Figura 39) fue la 8 con 9,3 g/l, la menor fue la 9 con 6,7 g/l y la que varió más entre años fue la 2. En cuanto al tartárico, fue la parcela 9 la de mayor concentración con 3,8 g/l y la 6 la de menor con 2,4 g/l.

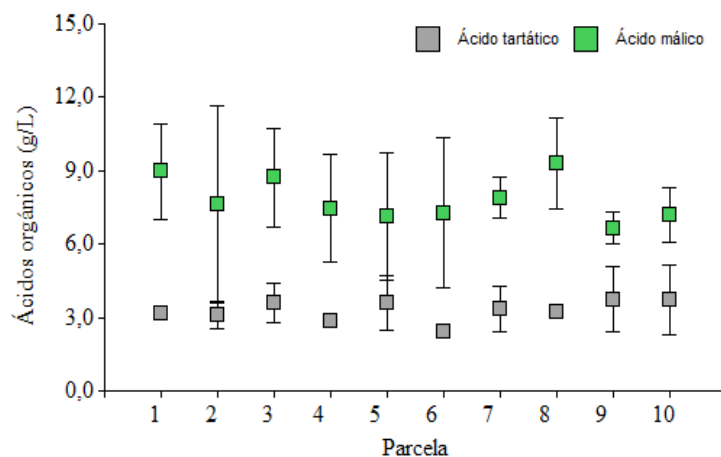


Figura 39. Niveles promedio de ácido tartárico (g/l; gris) y ácido málico (g/l; verde) de las parcelas de Albariño de los ciclos productivos 2018-19 y 2019-2020.

La riqueza fenólica promedio de las uvas de cada parcela se muestra en la figura 40. La parcela con mayor nivel de riqueza fenólica fue la 5 con 35 IPT, mientras que la menor fue la 6 con 28,4 IPT. Las parcelas que arrojaron mayor variabilidad temporal fueron la 4 y la 10.

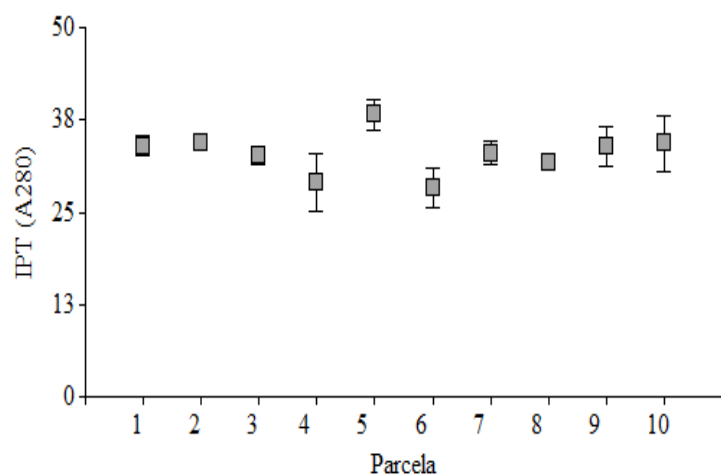


Figura 40. Niveles promedios de IPT en uvas de las parcelas de Albariño en los ciclos 2018-19 y 2019-20.

Los metabolitos primarios y secundarios de las uvas de cada parcela fueron clasificados en base a las categorías topográficas descritas en el cuadro 20. Se encontró diferencias significativas con respecto a la acidez titulable a meso escala. La altitud y

la pendiente se diferenciaron significativamente, donde las uvas provenientes de las parcelas en zonas altas registraron en promedio 0,7 g H₂SO₄ /l más comparado a zonas medias y bajas y la categoría 3 de pendiente (parcelas de 8,8 a 11,6°) presentaron uvas con 1 g H₂SO₄ /l más que las de categoría 1 (parcelas de 0 a 5,8°). Las diferencias se traducen en un aumento de la acidez entre 13% y 17% a favor de las zonas altas con elevada pendiente. Esto repercutió en la relación SST/Acidez, donde las parcelas en zonas altas obtienen un índice 0,72 menor a las parcelas en zonas altas. En cuanto a la acumulación de azúcares y el pH no mostraron correlación a escala meso climática (cuadro 20).

Cuadro 20. Relación entre los componentes primarios de la baya de Albariño (pH, SST, AT y ácidos orgánicos) y la situación topográfica de las parcelas. Diferencias analizadas por ANOVA (letras diferentes por test de Tukey; p-valor < 0,05).

	Altitud*			Pendiente**		
	Alto	Medio	Bajo	3	2	1
SST (g/l)	221 a	227 a	224 a	223 a	228 a	225 a
SST (g / baya)	0,249 a	0,256 a	0,258 a	0,251 a	0,265 a	0,255 a
SST (g /g baya)	0,202 a	0,207 a	0,205 a	0,203 a	0,208 a	0,205 a
pH	3,18 a	3,21 a	3,18 a	3,17 a	3,19 a	3,22 a
Acidez titulable (g H ₂ SO ₄ /l)	5,84 a	5,08 b	5,10 b	5,59 a	4,79 b	4,63 b
Rel. SST/ Acidez	3,82 a	4,52 b	4,54 b	3,88 a	4,80 b	4,96 b
Ácido málico (g/l)	8,99 a	7,99 a	7,42 a	8,26 a	6,96 a	8,13 a
Ácido tartárico (g/l)	3,13 a	3,24 a	3,38 a	3,25 a	3,08 a	3,44 a
t/m	0,35 a	0,42 a	0,46 a	0,4 a	0,46 a	0,43 a
IPT	30,7 a	31,2 a	33,0 a	31,4 a	31,2 a	33,0 a

*1=72-95, 2=96-117, 3=118-140 msnm. ** 1=0-5.8, 2=5.9-8.7, 3=8.8-11.6 (°).

El ácido málico fue el metabolito que condicionó la acidez total (figura 41). La relación de los ácidos orgánicos con la topografía, no mostró diferencias significativas entre los ácidos tartárico y málico y las condiciones topográficas altitud y pendiente (Cuadro 20). Sin embargo, las zonas altas en términos absolutos acumularon 1,6 g /l más de ácido málico en comparación a las zonas bajas.

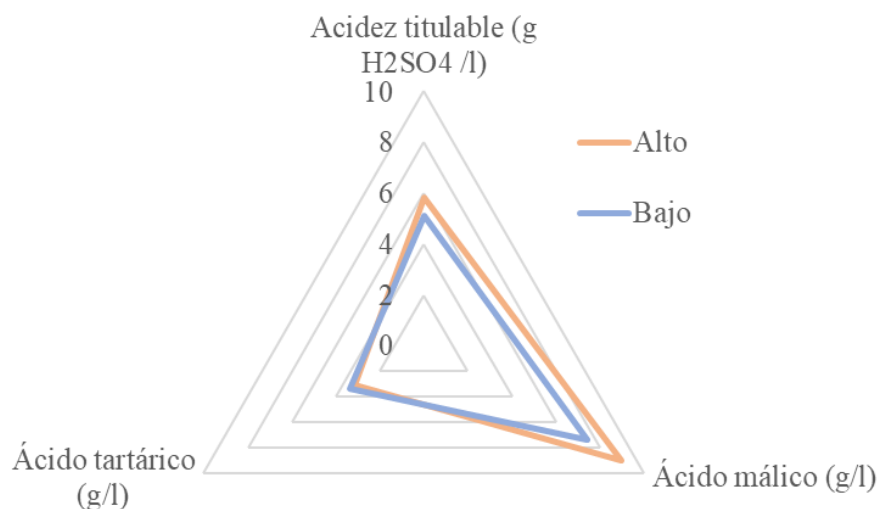


Figura 41. Relación entre la acidez titulable, el ácido málico y el ácido tartárico y las situaciones topográficas de las parcelas (zonas altas y bajas).

El IPT no se diferenció en cuanto a categorías topográficas, sin embargo, se observa una tendencia, donde las parcelas en zonas bajas obtuvieron un valor de 2,3 más que las zonas altas.

La evaluación de los metabolitos primarios AT (g sulfúrico /l) y SST (g/ baya) por baya en base a las condiciones topográficas se muestra en la figura 42. El ciclo 2018-19 fue el que mostró mayores diferencias para SST y AT a nivel topográfico durante todo el periodo de maduración. En el ciclo 2019-20 la diferencia de SST fue máxima a 7 días post E-L 34 en 0,046 g/ baya. En cuanto a la AT, las zonas bajas disminuyeron su concentración a mayor ritmo que las zonas altas en el ciclo 2018-19, siendo la diferencia máxima de 2,3 g sulfúrico / l a los 22 días luego de E-L 34, sin embargo, al siguiente año, la degradación de ácidos fue similar en ambas condiciones topográficas.

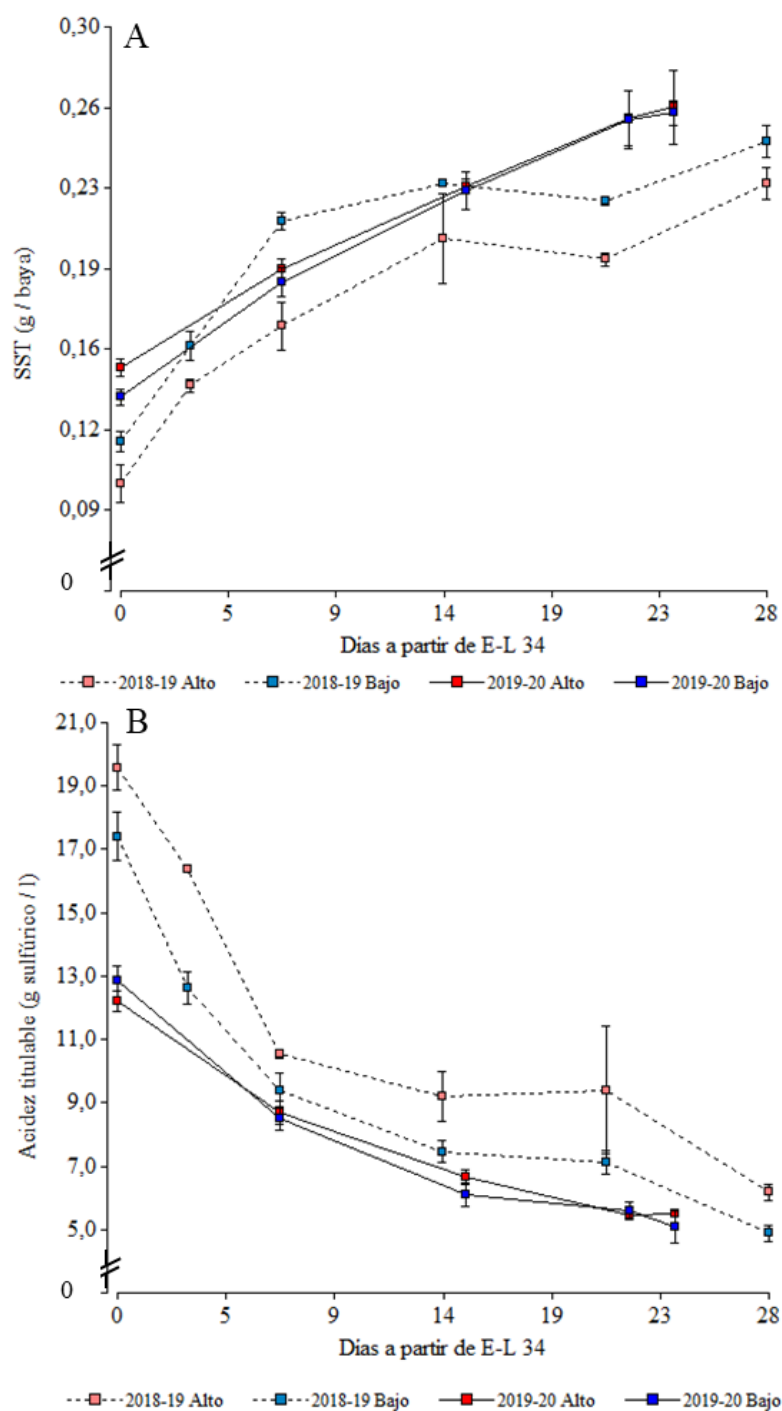


Figura 42. Evolución de A) la acumulación de SST (g / baya) y B) concentración de AT (g sulfúrico / l) en Albariño bajo las condiciones topográficas alto (rojos) y bajo (azules) en los dos años en estudio.

Al observar la tasa de acumulación de SST (g/baya) (figura 43), se da un incremento rápido, el cual en menos de un mes se completa la maduración de la uva. Por otra parte, el ciclo 2018-19 se presentó con mayores diferencias que la temporada 2019-20 donde la tasa prácticamente fue constante. La disminución de la acidez, mantiene un patrón similar a la acumulación de SST, pero a la inversa, donde nuevamente el ciclo 2018-19 mostró mayores diferencias entre las parcelas evaluadas. En cuanto a las variaciones dadas por la topografía, la principal diferencia se observó en la acumulación de azúcares en el 2019-20, en las que las zonas bajas acumularon a una tasa de 0,001 g/baya/días más que las zonas altas.

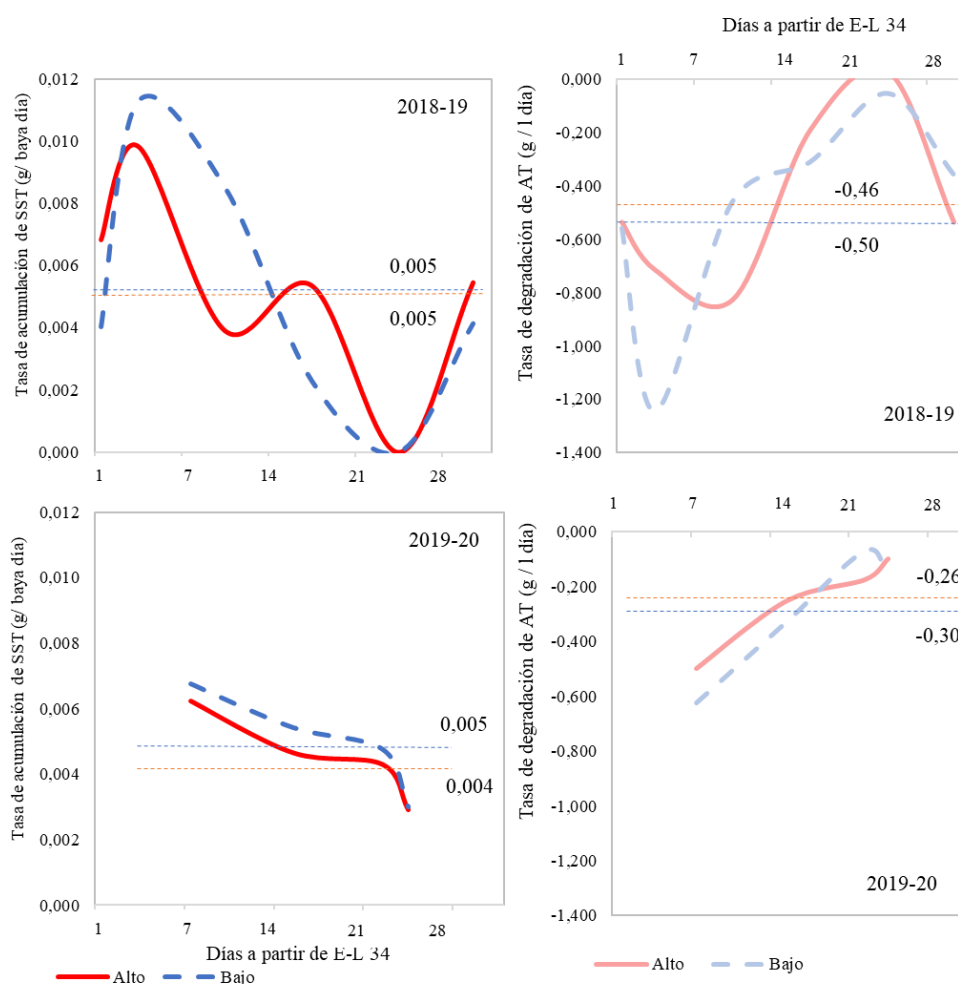


Figura 43. Evolución de la tasa de acumulación de SST (g/baya/día) y tasa de disminución de acidez (g/l/día), en relación a las condiciones topográficas en Albariño.

3.6.5 Análisis multivariado de la respuesta de la planta al clima

En base a los componentes de rendimiento, a la composición de la uva y las variables climáticas, se realizó el ACP (figura 44) discriminando las categorías de altitud. El eje 1 representa 77,4 % de la variabilidad total, donde se relacionan el IPT con HI ($r=0,99$; $p=0,01$) y con TmaxS ($r=0,95$; $p=0,19$). El ácido málico se relacionó negativamente con TmaxS ($r=0,99$; $p=0,06$). La condición geográfica caracterizada por el IPT son las zonas bajas. Sobre el eje 1 también se separó las condiciones geográficas altas, las cuales se encuentran estrechamente ligado con el ácido málico. Este compuesto se encuentra inversamente relacionado con HI ($r=-0,97$; $p=0,15$) y con TmaxS ($r=-0,99$; $p=0,06$). Sobre el eje 2, el cual representa el 22,6% de la variabilidad total, se distanciaron las zonas bajas y altas de las zonas medias. Estas últimas, se caracterizaron por el indicador de SST, presentándose inversamente relacionado a la acidez titulable ($r=-0,93$; $p=0,24$).

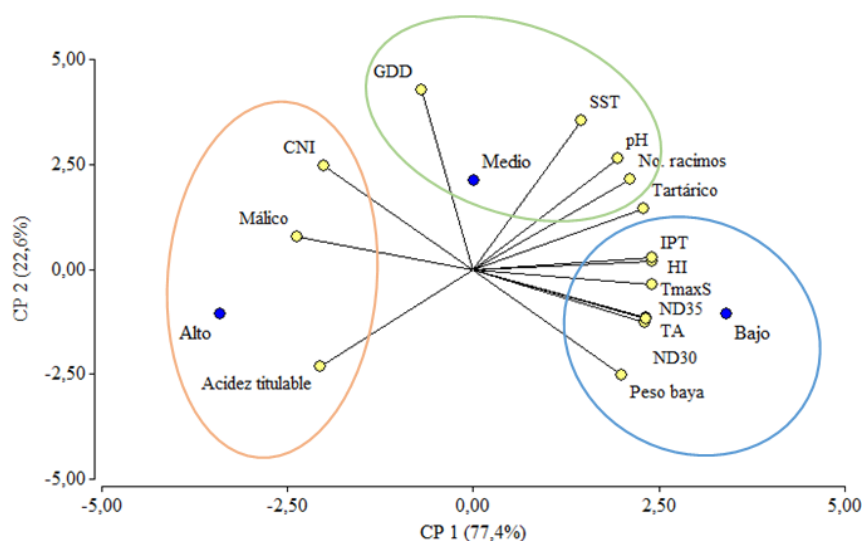


Figura 44. Análisis de Componentes Principales (ACP) de los parámetros metabólicos de baya y componentes agronómicos de Albariño en relación a las categorías topográficas de altitud.

El ACP y el análisis de cluster discriminó parcelas en base a los componentes de la baya en relación a los bioíndices adaptados al cultivo de la vid. El análisis de cluster formó 3 grupos de parcelas (figura 45 b). Un primer grupo está formado por las

parcelas 10 y 7 que se asociaron con SST e IPT, inversamente relacionados a las condiciones de altitud y pendiente. Un segundo grupo se formó con las parcelas 4, 5, 6 y 9 diferenciadas por estar opuestos al ácido málico y asociados a HI, ND30 y TmaxS. El tercer grupo de las parcelas 1, 2, 3 y 8 presenta los mayores valores de altitud y se relacionan con el ácido málico.

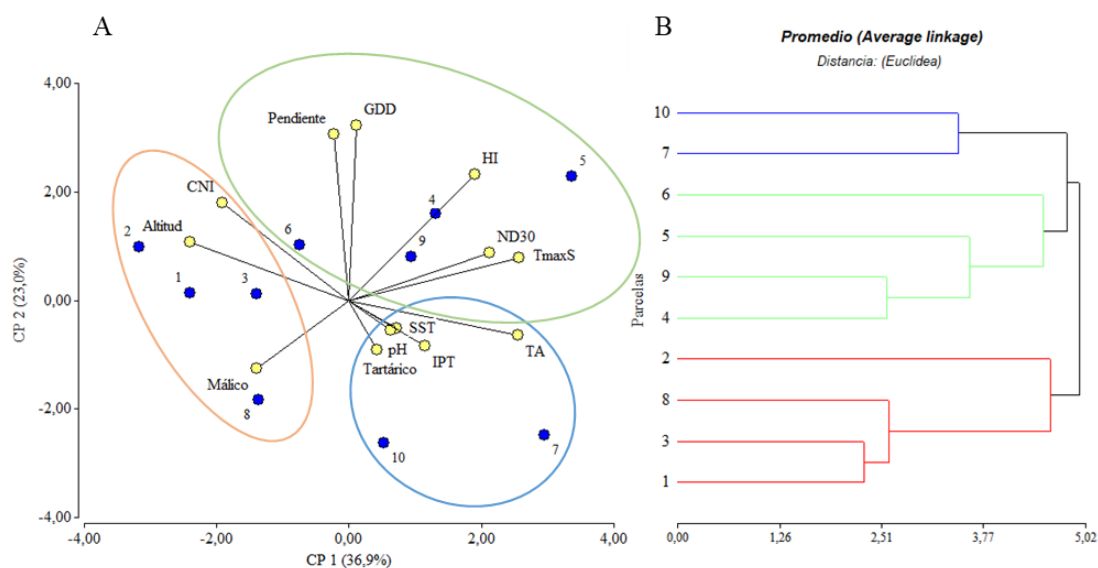


Figura 64. Análisis de componentes principales (A) y análisis de cluster (B) para las parcelas de Albariño en base a la composición de la baya (sólidos solubles, pH, IPT, ácido málico y tartárico), los bioíndices adaptados al cultivo de la vid (CNI, GDD, HI, ND30, TmaxS y TA) y la topografía (altitud y pendiente).

3.7 DISCUSIÓN: CV. TANNAT

3.7.1 Desarrollo fenológico, foliar y estatus hídrico

La evolución de la fenología de Tannat se asocia estrechamente con la acumulación de GDD para cada año en evaluación, siendo esta última una herramienta útil para describir el comportamiento varietal tal como mencionan Van Leeuwen et al. (2008).

Si bien la fecha de cosecha no es un estado fenológico *per se*, la fecha de cosecha de Tannat en el este del país es 7 días posterior al valor registrado por Ferrer et al. (2011) para Canelones (promedio de 2008-2009). La diferencia de acumulación diaria durante envero a cosecha registra un promedio de 2,9 GDD diario menos que la zona de

Canelones (9,4 contra 12,3 GDD), lo que provoca un ciclo anual más dilatado en el tiempo y el período de maduración ocurre con temperaturas más frescas. Según Dougherty (2012) periodos de maduración frescos permiten conservar la acidez y obtener mayor concentración de aromas, comparado a zonas más cálidas.

La variabilidad temporal entre ciclos fenológicos muestra en el este una fuerte relación con las condiciones térmicas. La diferencia de 385 GDD a favor del 2018-19 al inicio del ciclo, hace avanzar la fenología a mayor ritmo que el ciclo 2019-20, traduciéndose en un delante de dos semanas. Si bien en ambos ciclos se registra la brotación a partir del 1 de septiembre, en el ciclo 2019-20 no ocurren temperaturas medias sobre 10 °C hasta el 10/10. El umbral de 10 °C fue descripto por Pouget (1968) de forma general para la vid, mientras que García de Cortázar et al. (2005) señalan que la temperatura requerida para romper la brotación puede variar dependiendo del cultivar y que las temperaturas horarias en base 5 son más efectivas para predecir la brotación.

Además de la temperatura, las precipitaciones también condicionan directa e indirectamente en el pasaje de un estado fenológico a otro. Indirectamente a través de la nubosidad y directamente a través del estatus hídrico de la planta. Esta podría ser la causa del enlentecimiento de 3 semanas entre floración y el comienzo del período de maduración en el ciclo 2018-19, realzando la importancia de los factores climáticos como determinantes en el desarrollo fenológico. Esa temporada, el registro de 432 mm entre cierre de racimo (E-L 33) a envero (E-L 34), mantuvo la planta hidratada (0 bar), favoreciendo una mayor expansión foliar ($0,69$ vs $0,54 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) y un crecimiento activo del follaje al momento de comienzo de envero y diez días luego, hasta que cesaron las lluvias el 1/2/2019. Esto último genera una competencia de desarrollo entre los racimos y la canopia, que resulta negativa para la maduración de la uva, tal como mencionan Van Leeuwen et al. (2009).

El estatus hídrico presenta una fuerte variabilidad asociada a las condiciones de cada temporada. Una vez cesadas las precipitaciones en el periodo 2018-19, se observa que el estatus hídrico desciende rápidamente de estrés nulo a estrés leve a moderado. Esta situación se asocia a las condiciones edafológicas y topográficas del suelo citadas por Silva et al. (2018), donde la baja capacidad de retención de agua (40 mm en promedio)

ligado a la elevada pendiente (5 a 15%) dificultan el almacenamiento de agua en el perfil de suelo. No obstante, en periodos de alta demanda atmosférica (> 5 mm/ día) y libres de precipitaciones, como los ocurridos en los meses de enero y febrero del 2020, se observa como la caída del estatus hídrico se vuelve pronunciado hasta llegar a niveles de $-4,7$ bar en promedio.

La variabilidad parcelaria muestra una respuesta diferencial según las características del año. El ciclo lluvioso de 2018-19 donde se registra la mayor expansión foliar, la parcela 14 la cual presentó el menor desarrollo foliar comparado al resto de parcelas ($0,98$ m²/pl) es la que se deshidrata menos ($-2,0$ bar) una vez cesadas las lluvias luego de enero y con intensificación de la demanda atmosférica. Esto se puede explicar por la menor superficie transpiratoria tal como lo menciona Gómez del Campo et al. (2007). Al siguiente ciclo (2019-20), con menor disponibilidad hídrica y menor desarrollo foliar general de todas las parcelas, es la parcela 14 la que presenta el mayor estrés en E-L 33 y 36 ($-2,2$ y $5,7$ bar respectivamente) y menor superficie foliar ($0,66$ m²/pl), debido posiblemente a condiciones edáficas sitio-específico que restringe el crecimiento.

Por otra parte, asociado al desarrollo foliar y el mayor nivel de precipitaciones en el ciclo 2018-19, se registraron incidencia de podredumbres de racimo, principalmente causadas por *Botrytis cinérea* spp. Según Ferrer et al. (2009), Tannat es una variedad altamente sensible al ataque de estos patógenos, sin embargo, cuando las condiciones fueron secas, sumado a una canopia con menor SFEp que facilita la aireación como el 2019-20, la uva no presentó evidencia de ataque por hongos.

3.7.2 Componentes del rendimiento y equilibrio fisiológico

El rendimiento de una parcela es un proceso que comienza en el ciclo previo con la inducción y diferenciación de yemas reproductivas. El periodo ocurre principalmente en la primavera anterior y está condicionado por la radiación, la temperatura y el estatus hídrico entre otros factores (Carmo Vasconcelos et al., 2009). La fertilidad de yemas (inflorescencias/brote e inflorescencias/planta) no mostraron diferencias entre años, sin embargo, las variaciones espaciales de la fertilidad de yemas evaluado a

través del número de inflorescencias por brote, muestra que las zonas altas presentan 2 inflorescencias por planta promedio menos que el resto de condiciones topográficas. Esta situación puede ser explicada en función de la menor acumulación térmica que se registra en las zonas elevadas (artículo 1), ya que la inducción de la yema está determinada por la temperatura y la luz (Carmo Vasconcelos et al., 2009, Sánchez y Dokoozlina 2005, Butrosse 1970). De esta manera la temperatura y su variabilidad espacial podrían, entre otros factores, condicionar el rendimiento potencial de la variedad Tannat. Cuando las condiciones térmicas son más elevadas (situaciones de baja y media altitud), se puede estar favoreciendo la inducción y formación de inflorescencias. Por otro lado, las yemas requieren de radiación solar para inducirse. En ese sentido, Hunter et al. (2016) describen a las orientaciones N-S como las más propicias para captar mayor nivel de radiación solar. Sin embargo, al clasificar la fertilidad de yemas por orientación de las filas de las parcelas no se observan diferencias, por lo cual la luz no estaría siendo un factor limitante para la inducción de yemas en Tannat en la zona este.

La fertilidad de yemas a lo largo del cargador se muestra ascendente hacia el extremo apical (1,2 inflorescencias/brote), coincidiendo con Ferrer et al. (2004). Estos autores describen además una fertilidad que oscila entre 1,2 y 1,9 inflorescencias por brote similar a la obtenida en el trabajo.

La diferencia en el nivel de brotación entre años se explicaría gracias a la acumulación de calor en los primeros estadios del desarrollo fenológico, siendo la primavera de 2018 más cálida (1,1 °C más en el mes de septiembre). El ciclo 2018-19 al presentarse más cálido, pudo brotar en promedio 0,6 yemas más por planta comparado al siguiente año, favoreciendo un mejor desempeño de la brotación como menciona Martínez-Lüscher et al. (2016) y Molitor et al. (2014).

El peso de los racimos es similar al reportado por Ferrer et al. (2011) para Tannat en la zona sur. En ambas temporadas bajo estudio, la producción está definido por este componente del rendimiento ($r^2= 0,85$ – 2018-19 y $r^2=0,67$ 2019-20). La correlación establecida entre el peso del racimo y el número de bayas está de acuerdo con lo

reportado por Guilpart et al. (2014) y Kliewer y Dokoozlian (2005), quienes citan que el rendimiento no se asocia al peso de baya sino a su número.

El peso de la baya promedio registrado en la zona este (1,67 g), se encuentra dentro de los valores reportados por Ferrer et al. (2014) para Canelones. El porcentaje de semillas con respecto al peso de la baya (5 %) es similar al reportado por Ferrer et al. (2014) para el Sur de Uruguay. Sin embargo, la zona este presenta un 8,2 % más del peso del hollejo. El porcentaje de hollejo es relevante al momento de la vinificación, ya que en el mismo se encuentran compuestos de interés enológico como los polifenoles y aromas, los cuales aportan características de calidad al vino (Koundouras, 2018) y una de las razones de su aumento puede estar ligado a la mayor intensidad de viento en la zona oceánica (cap. 2).

El tamaño de baya es un factor de importancia enológica y éste puede ser modificado por diversas circunstancias a lo largo de toda las etapas de su crecimiento (Ferrer et al. 2014, Ojeda et al. 2001, Coombe y McCarthy 2000). El peso de la uva presenta una gran variabilidad temporal asociada al régimen de precipitaciones. La intensidad de precipitaciones en floración en 2019-2020 (57mm comparado con 107 mm en 2018-2019) genera un menor cuajado y por consiguiente una mayor compensación del rendimiento asociado al crecimiento de baya, logrando finalmente un mayor peso final (+ 0,16 g). A su vez, a raíz de las precipitaciones, el índice de compacidad (IC) de racimos presenta racimos más laxos en la comparación entre años (promedio de 2,9 en comparación a 3,5).

La pérdida de peso registradas a partir de febrero 2019 (figura 6), puede ser consecuencia del mayor desarrollo vegetativo de la canopia, la cual genera un retroflujo del agua por la xilema del grano cuando el estatus hídrico de la planta disminuye (Greer y Rogiers 2009, Coombe et al. 2000). En el 2019-20 la evolución el peso de baya no muestra deshidratación, a pesar de ser el año de menor volumen de precipitaciones durante el período de maduración y es debido posiblemente al suplemento de agua por riego y a la menor superficie transpirativa de las hojas.

El desarrollo de la superficie foliar y el peso de poda es similar al reportado por Ferrer et al. (2020a) en Canelones (0,63 m²/m² y 347 g/m² respectivamente). El equilibrio

fisiológico señala valores de IR cercanos a los reportados por Ferrer et al. (1997), donde mencionan para una planta equilibrada de Tannat un IR de 6 a 8, por lo cual ambos años se presentan dentro del valor óptimo (8,0 en 2018-19 y 7,0 en 2019-20). La variabilidad espacial de 5 unidades IR, puede ser explicada por la topografía, donde la parcela 12 se encuentra en una posición cóncava, capaz de retener agua, mientras que la parcela 14 se encuentra en una posición topográfica convexa, la cual le dificulta retener agua. Esta situación sitio-específica concuerda con Jones y Hellman (2003), donde mencionan a la ubicación topográfica como elemento condicionante en el desarrollo de la planta. Sin embargo, al agrupar todas las parcelas de Tannat por categorías de pendiente y altitud no se encontraron diferencias estadísticas para rendimiento, peso de poda e IR. Esta razón puede estar explicada por el suministro de agua de riego el cual contrarresta las interacciones que puedan existir entre las configuraciones topográficas y la planta, donde solo algunos casos puntuales se vuelven relevantes.

3.7.3 Composición primaria y secundaria de la baya

Los contenidos en la baya de SST y pH de Tannat en la zona atlántica son similares a los valores reportados por Ferrer et al. (2014) en la zona sur de Uruguay. No obstante, el valor promedio de acidez titulable, se presenta con 0,5 g/l por encima de lo reportado por Ferrer et al. (2020a) para la zona sur. El ácido málico en las uvas del este contiene 1,5 g/l en promedio por encima de los valores registrados por Ferrer et al. (2020a) en Canelones. En base a estos resultados, la zona atlántica no presenta limitantes para la obtención de SST y se obtienen uvas con altos contenidos de acidez, principalmente debido a alto contenido de ácido málico, en comparación a la zona sur. De esta manera, temperaturas más frescas como el este de Uruguay, no permite la degradación de ácido málico, debido a una disminución del metabolismo de la baya (Sweetman et al., 2014).

La acumulación de SS se dio en dos fases, tal como reporta Edo-Roca et al. (2013) para la variedad Carignan. La variabilidad climática interanual repercute en la acumulación de SST durante la etapa de maduración. El mayor nivel de azúcares (g / baya) se dio en la zafra 2019-20, debido a una fase 1 de rápida acumulación más

dilatada en el tiempo (7 días más, en comparación al 2018-19). Esto permitió que la acumulación de SST sea mayor, a pesar de presentar una menor tasa diaria (0,0065 g/baya/día en contraposición a 0,0085 g/baya/día). La mayor tasa de acumulación de SS (g / baya) ocurre en el ciclo 2018-19 en concordancia con el mayor desarrollo foliar que potenciado por un febrero cálido (Cap. 1), pudo sintetizar y suministrar mayor nivel de carbohidratos a la baya.

La diferencia de 7 días entre años en el comienzo de la fase de plateau de acumulación de SST, es consecuencia del tardío comienzo del envero en el año 2018-19. Esto genera que este ciclo cumpla menos días en fase 1 y por tanto alcance menor acumulación total. Una vez comenzado el plateau, la acumulación media por día (0,0025 g/baya/día) en ambos años es similar y concuerda con los valores reportados por Deloire (2011) y Coombe et al. (2000).

La mayor acidez titulable del ciclo 2018-19 (+0,6 g/l) es consecuencia de una mayor acumulación del ácido tartárico, posiblemente en respuesta a la exposición solar y al estrés hídrico en primavera como comunica Cholet et al. (2016). A pesar que el ácido málico es un metabolito altamente relacionado con las temperaturas, no hay diferencias entre años de este compuesto. El mismo necesita temperaturas de 25 °C pre envero para su síntesis (Lakso y Kliewer, 1975), las cuales fueron más propicias en el ciclo 2019-20 (Temperatura media de Diciembre: 21,9 °C en 2019-20 y 20,0 °C en 2018-19), no obstante, luego de envero su degradación aumenta de manera exponencial sobre 20 °C (Sweetman et al., 2014), donde la T máxima del verano fue de 29,7 °C en 2019-20 y 28,1 °C en 2018-19. Por lo tanto, el ciclo 2019-20 sintetizó ácido málico, pero a su vez degradó más debido a las altas temperaturas, obteniendo en el balance la misma cantidad que el ciclo 2018-19, el cual sintetizó menos, pero también fue menor su degradación. De esta manera, la variabilidad temporal del clima es uno de los principales generadores de diferencias entre vendimias tal como reporta Santos et al. (2020).

La variabilidad espacial repercute en las parcelas arrojando diferencias significativas en la cantidad y en la concentración de SST. Las uvas de las zonas bajas concentran y acumulan más que las zonas altas (13 g/l y 0,010 g/g baya) debido a una mayor tasa

de acumulación diaria en fase 1 (+0,001 g/baya/día). Esta situación en las zonas bajas, puede ser explicada a la mayor exposición de temperaturas máximas dentro del óptimo de fotosíntesis de 25-30 °C (Torregrosa et al., 2017), una mayor amplitud térmica y un menor CNI, evitando una mayor respiración nocturna (Gaiotti et al., 2018; Jackson y Lombard, 1993).

La variabilidad espacial de los contenidos de acidez total de las uvas de cada parcela, no mostró diferencias estadísticas. Sin embargo, las parcelas en zonas altas presentan más ácido málico (+1,4 g/l) debido a estar en zonas altas, frescas y expuestas a mayores vientos durante el día (cap. 1).

La composición secundaria de la baya presenta un IPT promedio de 57, siendo superior al valor de 52,7 reportado por González-Neves et al. (2010) para Tannat en Canelones. En cuanto a los antocianos, ambos años en estudio superan los valores reportados por Ferrer et al. (2014) para Canelones, donde en promedio presentaron 31% más ApH1 (antocianos potencialmente extraíbles) y 44% más de ApH3,2 (antocianos fácilmente extraíbles). Las condiciones atlánticas de menor estrés térmico durante el periodo de maduración de la uva comparado a la zona sur (cap 1), pueden ser las responsables de un balance positivo de antocianos al final de la zafra. No obstante, al observar el %EA de 60%, indica que la zona atlántica extrae en promedio 10% menos del potencial de antocianos que la zona sur según González-Neves et al. (2010). González-Neves et al. (2004b) señalan que los valores de EA% son menores cuando las uvas son más maduras, porque la diferencia entre el total las antocianinas y las antocianinas extraíbles disminuyen cuando la degradación de las paredes y membranas de la célula de las pieles aumenta.

La variabilidad interanual de los contenidos de antocianos finales de las uvas, muestra que la zafra 2018-19 registra la mayor concentración de IPT, ligado a una mayor concentración de antocianos. Esta zafra presenta significativamente menores valores de GDD, TmaxS y ND30, lo cual puede estar afectado los bajos contenidos finales de compuestos secundarios tal como citan Spayd et al. (2002). Por otra parte, Mori et al. (2005), mencionan que por encima de 30 °C la acumulación de antocianos se ve disminuida, debido a la inhibición de la expresión de genes enzimáticos relacionados

a la ruta metabólica de los antocianos. De esta manera, el ciclo 2019-20 que presenta el doble de días con temperaturas superiores a 30 °C pudo condicionar el nivel de antocianos. Por otra parte, la zafra 2018-19 presenta la mayor concentración de antocianos a pesar de que el peso de hollejo fue similar entre zafras, lo cual concuerda con Ferrer et al. (2014) donde no encontraron relación entre el peso de hollejo y el nivel de antocianos en Tannat.

Con respecto a la evolución de los antocianos, se encuentra una cinética de aumento continuo para alcanzar su pico máximo una semana precosecha, para luego descender levemente. Este fenómeno llamado “*anthocyanin sugars decoupling*”, descrito por Sadras y Moran (2012) y Martínez De Toda y Balda (2015), señala el desfase del óptimo de acumulación de sólidos solubles con el óptimo de acumulación de antocianos, acarreando problemas enológicos al momento de la vinificación. Por consiguiente, la información de la evolución de azúcares y antocianos puede ser utilizado agronómicamente para establecer momentos de cosecha más oportunos para el objetivo de producción. Por su parte, la evolución de taninos coincide con Downey et al., (2003), donde mencionan que la síntesis ocurre pre envero, manteniéndose estables a lo largo de la maduración.

El perfil de antocianos para Tannat coincide con lo reportado por González-Neves et al. (2004a), donde la malvidina es el antociano más frecuente en Tannat, seguido por petunidina, delfinidina, peonidina y por último cianidina. En cuanto a los derivados de antocianos, los no asilados coinciden con lo reportado por González-Neves et al. (2004a), como la categoría más abundante. Estos autores, muestran a los acetatos como el segundo grupo con mayor presencia, sin embargo, en el este de Uruguay, cumaratos como acetatos presentan niveles similares.

Tannat muestra diferencias significativas en la variabilidad espacial entre el contenido fenólico y la topografía. Las uvas provenientes de las zonas bajas y con baja pendiente (categoría 1) son las que acumulan significativamente mayores niveles de IPT. Este resultado se explica, en parte, por mayores valores en los índices de antocianos (ApH1 y ApH3.2) en las zonas bajas. Esto sucede gracias a la mayor amplitud térmica, menor CNI y temperaturas nocturnas cercanas a 15 °C, como reporta Mori et al. (2005)

necesarias para la acumulación de antocianos. A pesar de que las zonas bajas presentan mayores temperaturas máximas, estas no superan el umbral de 30 °C citado por Spayd et al. (2002) para generar degradación de antocianos por exceso térmico. En consecuencia, el topoclima de las parcelas logran diferenciar condiciones ambientales que afectan el metabolismo de la uva por sobre el efecto año, lo cual muestra el gran efecto de la topografía sobre el clima local y el comportamiento varietal.

Las uvas procedentes de parcelas con condiciones topográficas bajas pueden acumular mayor cantidad de cada tipo de antociano en comparación a las altas. En esas parcelas, los antocianos cianidina y peonidina aumentan su concentración, sin manifestar la reducción acusada por el resto de los antocianos mientras que las uvas provenientes de zonas altas, todos los tipos de antocianos disminuyen su nivel a cosecha. En cuanto a la proporción de los diferentes antocianos, las condiciones topográficas de altitud en interacción con la fecha modificaron la relación final. De esta manera, conocer la variación de la acumulación de cada antociano en la uva es un factor relevante para modificar las condiciones organolépticas del mosto y el vino (Spayd et al., 2002).

Al analizar conjuntamente las relaciones entre la topografía, el clima local y el comportamiento agronómico, las parcelas en zonas altas en contraposición a las zonas bajas, son las dos condiciones que explican la mayor variabilidad ocurrida a meso escala. La asociación de las zonas altas con la acidez, es explicado principalmente por encontrarse opuestos a los indicadores de temperaturas máximas extremas (ND35, ND30, HI e TmaxS). Estos indicadores, evidencian la relación negativa que existe con la acidez tal como menciona Sweetman et al. (2014) durante el periodo de maduración de la uva, la cual se manifiesta a escala fina. La asociación positiva de las zonas bajas con los azúcares y metabolitos secundarios, se explican por ser las zonas con noches más frescas y mayor amplitud térmica. Esta condición evita la respiración nocturna y degradación de compuestos durante la maduración (Gaiotti et al., 2018).

Al agrupar parcelas según los metabolitos de baya de Tannat, se obtiene una agrupación similar en base a los indicadores bioclimáticos (figura 13, artículo 1). Un grupo está formado por la parcela 18, que se presenta en la zona más baja del estudio, mientras que opuesto aparece el grupo con las parcelas 13 y 11 las cuales se encuentran

las zonas altas del viñedo. En un grupo intermedio están el resto de parcelas que comparten una o varias características asociadas a parcelas bajas o altas. Es por todo lo anterior que Tannat muestra ser una variedad altamente sensible al clima, como se reporta por Ferrer et al. (2020b), Ferrer et al. (2018) y Fourment et al. (2017). De esta manera se pueden agrupar parcelas con condiciones topoclimáticas similares, que permitan realizar manejos agronómicos eficientes y dirigidos a cada condición en particular.

Con la variabilidad térmica de 133 GDD entre zafras se obtienen diferencias significativas en el avance fenológico y en la composición de la uva (nivel de acidez, sólidos solubles, IPT y antocianos) en Tannat. En un contexto de cambio climático y aumento de la temperatura global en 550 GDD para el 2050 como menciona Keller (2010), significa una mayor presión térmica sobre los viñedos en el periodo de maduración de la uva. Es por esto que la zona atlántica se presenta como la región más fresca de Uruguay, capaz de amortiguar el aumento térmico y consolidar la obtención de uvas de calidad para vinificación.

3.8 DISCUSION: CV ALBARIÑO

3.8.1 Desarrollo fenológico, foliar y estatus hídrico

La fenología de Albariño necesita 1543 GDD para trascurrir el proceso de brotación a cosecha. Se registra un coeficiente de variación menor asociado a la acumulación de grados días que el relacionado al conteo de días entre periodos fenológicos. Esto es coherente con lo comunicado por Van Leeuwen et al. (2008), donde mencionan a la acumulación de GDD como una herramienta útil para describir el comportamiento varietal.

El desarrollo de esta variedad en Uruguay presenta en promedio un ciclo de 167 días, 7 días más que la media reportada por Boso et al. (2008) de Albariño en Galicia, España. La mayor diferencia se da en los periodos de invierno a cosecha (E-L 34 a 38), donde en Galicia registran una sumatoria de 28 días mientras que en la zona este de Uruguay le toma 37 días, un periodo de maduración de la uva en promedio 9 días más dilatado que su sitio de origen. Sin embargo, en Uruguay, uno de los criterios de

cosecha es el pH de 3,20, mientras que, en España, el pH de cosecha reportado es de 3,10 (promedio de 4 años; Cancela et al., 2016). Esta diferencia de pH a cosecha, puede explicar las discrepancias en el largo de ciclo.

En cuanto a la variabilidad interanual, ambos años, la brotación comienza cuando la acumulación de GDD en base 10 se vuelve positiva. Esto concuerda con el umbral descrito por Pouget (1968) de forma general para la vid. Las diferencias de 1,4 brotes a favor del ciclo 2018-19 en el nivel de brotación, se pueden asociar al mayor nivel térmico durante la primavera del 2018 el cual fue de 1,1 °C más en promedio durante septiembre, el cual propició un mejor desempeño de la brotación como menciona Martínez-Lüscher et al. (2016).

Posteriormente, en ambos años, la velocidad con la cual se desarrolla el avance fenológico guarda estrecha relación con la acumulación de GDD como menciona Van Leeuwen et al. (2008). Sin embargo, el pasaje de un estado fenológico a otro, también está condicionado por las precipitaciones. De manera indirecta, la nubosidad afecta la acumulación térmica y la radiación y de manera indirecta las lluvias condicionan el estatus hídrico de la planta (Martínez-Lüscher et al., 2016). El ciclo 2018-19 al presentar mayor pluviometría entre cierre de racimo (E-L 33) a envero (E-L 34), el cual se evidencia en el estatus hídrico a E-L 33 (0 bar), retrasa el avance fenológico 15 días para iniciar el periodo de maduración de la uva una semana posterior al ciclo 2019-20. El resultado concuerda con Deloire et al. (2004), donde menciona que las precipitaciones pueden retrasar inicio de la maduración, debido a un excesivo desarrollo del follaje que compite con el crecimiento del racimo a partir de E-L 34. Situación que se comprueba con el mayor desarrollo foliar del ciclo 2018-19.

La baja capacidad de retención del agua de la zona, descrita por Silva et al. (2018) genera que, una vez cesadas las precipitaciones en el periodo 2018-19, el estatus hídrico de la planta desciende de la categoría de estrés nulo a leve-moderado en 10 días, ligado a la ausencia de suplemento de agua por riego. De esta manera, las condiciones topo-edáficas del sitio permiten drenar rápidamente excesos hídricos que pueden ser no deseados para el viticultor. Por otra parte, en periodos de alta demanda atmosférica (> 5 mm/ día) y libres de precipitaciones, como los ocurridos en los meses

de enero y febrero del 2020, se observa como el suplemento de agua por riego mantuvo las plantas en el estatus de stress hídrico leve a moderado, donde se estima que sin esta herramienta, el nivel de déficit podría haber sido mayor.

La variabilidad espacial entre parcelas en cuanto al estatus hídrico solo se evidencia en E-L 36 y muestra una respuesta diferencial según las características del año asociado al desarrollo del follaje. Durante el ciclo lluvioso de 2018-19, la parcela 3, la cual presenta el menor desarrollo foliar ($1,11 \text{ m}^2/\text{pl}$) es la que se deshidrata menos ($-2,8 \text{ bar}$). Esto es debido a que cuando cesan las lluvias en febrero y se intensifica la demanda atmosférica, la menor superficie transpiratoria (superficie foliar) le permite deshidratarse menos tal como menciona Gómez del Campo et al. (2007). Al siguiente ciclo (2019-20), con menor disponibilidad hídrica, es la parcela 3 la que presenta el mayor estrés en E-L36 ($-4,7$) con la menor superficie foliar ($0,98 \text{ m}^2/\text{pl}$). Esto es debido posiblemente a condiciones edáficas sitio-específico que restringen el almacenamiento de agua en el suelo y por tanto el crecimiento, las cuales se vieron agravadas con la mayor demanda atmosférica. La complejidad del terreno sitio-específico influye en el estatus hídrico de la planta y por tanto en el desarrollo vegetativo. Conocer las diferencias permitirá dirigir medidas agronómicas de manera eficiente con un recurso escaso como es el suministro de agua por riego.

En ambos años, la susceptibilidad a enfermedades de racimo como *Botrytis cinerea* muestra una incidencia de 0% de la producción para ambos años. Dos razones pueden explicar este fenómeno: por un lado, mayor adaptación a los climas húmedos, la cual la hace más resistente frente al combate de enfermedades fúngicas (Alonso-Villaverde et al., 2008) y por otro, el ciclo de maduración corto la hace estar menos expuesta a eventos de lluvia en verano. Esta baja incidencia de enfermedades hace que esta variedad sea promisoría para las condiciones húmedas de cultivo en Uruguay.

3.8.2 Componentes del rendimiento y equilibrio fisiológico

La fertilidad de yemas (inflorescencias/planta) muestra una marcada variabilidad espacial influenciada por la geografía de las parcelas. Las parcelas en zonas bajas y con orientaciones de fila N-S presentaron entre 5 a 8 inflorescencias/planta más que el

resto de situaciones. Esto es debido a que la temperatura y la radiación son factores determinantes en la inducción y diferenciación de las yemas fructíferas (Carmo Vasconcelos et al., 2009, Sánchez y Dokoozlina 2005, Butrosse 1970). Las zonas bajas, al resguardo de los vientos oceánicos presentan mayor intensidad térmica que las zonas altas (Cap. 1) y las parcelas que presentan orientación de la fila N-S son citadas por Hunter et al. (2016) como la disposición capaz de absorber mayor porcentaje de radiación durante el día. Por lo que la intercepción de la radiación por la canopia y la temperatura sitio-especifico, posiblemente sean factores limitantes al momento de inducir yemas fructíferas, en particular, aquellas yemas basales, las cuales se inducen primero en condiciones ambientales más limitantes en cuanto a la radiación y temperatura (Sánchez y Dokoozlina 2005, Butrosse 1970).

La fertilidad ascendente a partir de la 4ta yema, señala una variedad con mayor fructificación en los extremos apicales. Esta condición puede dirigir practicas agronómicas, como la elección de la poda, en búsqueda de mayor producción en la planta.

El peso de racimo, número de racimos y la producción por planta se encuentra dentro de los valores reportados por Cancela et al. (2016) para las condiciones de Galicia. La variabilidad temporal de estas variables no fue importante. Sin embargo, la alta variabilidad espacial registrada en la fertilidad de yemas, impacta en el número de racimos cosechados y por ende en la producción de uva. Las parcelas que presentan filas con orientación N-S son las que logran hasta 8 racimos más por planta comparado a las parcelas con orientación E-O, las cuales presentan en promedio más rendimiento (25 % superior). De esta forma, se podría indicar que la radiación sería un factor limitante en el rendimiento potencial de la variedad blanca en el este de Uruguay.

En Albariño, la producción de uva se asocia significativamente con el número de racimos ($r^2 = 0,95$ – 2018-19), en tanto para ambos años el número de bayas es el principal factor que influye en el peso de racimo en comparación al peso baya, lo cual concuerda con Guilpart et al. (2014) y Kliewer y Dokoozlian (2005). De esta manera, atender estos componentes del rendimiento repercutirá de manera directa en la producción.

El peso de baya en el este de Uruguay es inferior al registrado por Diéguez et al. (2003) en Galicia. En cuanto a la variabilidad temporal, el ciclo 2019-20 se diferenció significativamente en 0,10 g más que el 2018-19, debido a la deshidratación de la baya durante la maduración. Las elevadas temperaturas de febrero (T media máx. 29 °C), la baja capacidad de almacenar agua del suelo (40 mm; Silva et al., 2018), la ausencia de suministro de agua por riego y la elevada superficie foliar generaron posiblemente que la planta intensifique el retroflujo xilemático de agua de la baya tal como lo menciona Greer y Rogiers (2009) y Coombe et al. (2000). Esta situación se puede observar en la evolución del peso de la baya (figura 32), donde el ciclo 2018-19 presentó su tamaño máximo 7 días post envero, pero luego decayó en -0,10 g/baya a cosecha. Ojeda et al. (2001) refiere que este periodo es clave para el tamaño de baya en relación a la restricción hídrica. Esto llevo también a que las condiciones de zonas altas en comparación a zonas bajas para este año se diferenciaron claramente (variabilidad espacial). En el 2019-20, a pesar de ser el año con menos precipitaciones durante la maduración de la uva, se puede observar como la evolución del crecimiento de baya se presenta más estable, donde se suplementa agua para evitar que el déficit hídrico sobrepase la categoría de leve-moderado y no se observan diferencias espaciales en la evolución del peso de baya. No obstante, sin esta herramienta, se presume que el déficit hídrico en años cálidos sea ampliamente superior al registrado.

El tamaño de baya, variable de importancia enológica (Barbagallo et al., 2011), se ve modificado por las situaciones topográficas, por la disponibilidad hídrica post envero y la superficie foliar de la planta. Por ende, no es solo resultado del acumulado total de precipitaciones de la zafra, sino de una interacción multifactorial (Deloire et al., 2006; Ojeda et al., 2001).

El valor del índice de Ravaz de Albariño es superior al valor descripto por Cancela et al. (2016) para Galicia, España, indicando que en su zona de origen también se expresa como una planta vigorosa. Por lo cual, en densidades de plantación alta (5000 pl/ha) como las del presente trabajo, la variedad tendrá un comportamiento de ocupar rápidamente el lugar asignado y generará una alta competencia por los recursos con las plantas vecinas como la radiación y el agua.

3.8.3 Composición primaria y secundaria de la baya

En cuanto a los parámetros de calidad enológica de la baya reportados por la bibliografía, Albariño en el este de Uruguay muestra niveles de SST (g/l) similares al reporte de Cancela et al. (2016) en Galicia, España. La acidez titulable presenta un promedio de 1,3 g/l menos y el pH 0,12 unidades más básico, comparado al reporte del mismo autor. Albariño obtiene niveles de acidez menor comparado a su situación en España debido a la menor acumulación de ácido tartárico (- 1,9 g/l) (Vilanova et al., 2019, Cancela et al. 2016), ya que el ácido málico en el este de Uruguay acumula en promedio 2,25 g/l más que en Galicia (Cancela et al. 2016, Diéguez et al. 2003). El nivel de fenoles registrado en el Este de Uruguay, alcanza el doble que el valor registrado Vilanova et al. (2019) en Galicia, España. Según Conde et al. (2007), los fenoles tienen capacidad antioxidante y son deseados al momento de vinificación ya que mejoran la calidad del vino.

La diferencia en la concentración de azúcar y por tanto de alcohol probable a favor de la zafra 2019-20, es debida a la presencia de un enero más caluroso en este ciclo. Sin embargo, los valores de pH y acidez son estables entre vendimias tal como describen Diéguez et al. (2003), donde menciona a Albariño como una variedad que conserva de buen modo la acidez entre cosechas. El ciclo 2019-20 presenta el mayor nivel de fenoles (+7,4 IPT), quizás debido con el incremento de flavanoles, polifenol encargado de proteger las bayas frente la radiación UV (Blancquaert et al., 2019). Por consiguiente, la variabilidad temporal del clima es uno de los principales generadores de diferencias entre vendimias tal como reportan Ubalde et al. (2010) y Van Leeuwen et al. (2004).

Las uvas provenientes de zonas altas, presentan significativamente el mayor nivel de acidez y la mayor concentración de ácido málico (+1,6 g/l) debido a los 1,7 ° C promedio menos alcanzados en estas zonas en las temperaturas máximas en verano. La temperatura puede estar condicionando el balance de acidez titulable, ya que sobre 20 °C post enero la degradación de málico se incrementa a medida que aumenta la temperatura (Sweetman et al., 2014). Los contenidos de ácido tartárico en las uvas, no se relaciona estadísticamente con ninguna condición topográfica, lo cual coincide con

lo citado por Blancquaert et al. (2019). Los autores mencionan al tartárico como un ácido estable durante la maduración y poco o nulo afectado por las condiciones ambientales durante ese periodo.

El valor promedio de 0.005 g/baya/día de tasa de acumulación de SST (g/baya/día) muestran que Albariño presenta una rápida acumulación de azúcar, sin mostrar fases. Esta situación es reportada por varios autores (Edo-Roca et al. 2013, Deloire 2011). Según este último, una acumulación rápida de sólidos solubles es una característica positiva para vinos blancos para la obtención de aromas. Entre las dos temporadas analizadas, solamente en la 2019-20 se observa una discriminación de la tasa de acumulación de lo SST (g/baya día) de uvas provenientes de diferentes condiciones topográficas. Las zonas bajas al presentarse resguardada de los vientos frescos durante el día alcanzan temperaturas cercanas al óptimo de 30 °C para la fotosíntesis (Torregosa et al., 2017). La acidez, en ambos años, muestra una tasa de degradación menor en las zonas altas (-0,04 g/l día), debido posiblemente a las condiciones frescas que se registran en estas parcelas por estar más expuestas a los vientos oceánicos durante el día.

Al analizar las correlaciones entre las variables climáticas, la topografía y el comportamiento agronómico de Albariño, se observa como la altitud explica gran parte de la variabilidad total sucedida en los indicadores analizados. Las parcelas ubicadas en zonas bajas en comparación de las altas son las que presentan la mayor variabilidad. La importancia de la altitud en la modificación del meso-clima quedó en evidencia en el capítulo 1, repercutiendo principalmente en los indicadores climáticos TmaxS, TA, CNI y ND30. Por consiguiente, dicha interacción entre el clima y la planta desencadena un comportamiento diferencial a escala fina, lo cual condiciona la composición de la baya. La asociación más notoria con las zonas altas es la acidez titulable, principalmente dado por el málico y en oposición a los indicadores de altas temperaturas (ND30, ND35, TmaxS e HI). Las zonas bajas, se discriminan gracias a la acumulación de polifenoles ligadas a la amplitud térmica y opuestos al CNI. Ambas condiciones son favorables para la acumulación de compuestos fenólicos durante la maduración (Blancquaert et al., 2019). La asociación de las zonas medias con el índice

de GDD es descripto en el capítulo 1, gracias a estar menos expuestos a los vientos y no acumular aire fresco en la madrugada. A estas zonas se le agrega el indicador de acumulación de sólidos solubles, el cual concuerda con Van Leeuwen et al. (2008) y Parker et al. (2020). Los mismos, han mencionado la estrecha relación entre GDD y acumulación de sólidos solubles, la cual se observa a escala fina en la variedad blanca.

La agrupación de las parcelas en función de la composición de la uva (figura 43) guarda semejanza con la agrupación de las parcelas en función a los indicadores bioclimáticos (figura 13). Esto estaría indicando la influencia del clima local sobre la composición final de la uva de Albariño. De esta manera, clasificar parcelas en relación a la topografía, permite dirigir medidas de manejo agronómico para potenciar la tipicidad del sitio, ser más eficientes con los recursos y proporcionar un producto más estable a lo largo de los años.

La variabilidad térmica de 133 GDD entre zafras, genera diferencias estadísticas en la acumulación de SST, nivel de ácido málico e IPT en las uvas cosechadas. Un aumento de la temperatura global para el 2050 como menciona Keller (2010) generará mayor presión térmica sobre la maduración de la uva, repercutiendo en los metabolitos de la baya. Por consiguiente, la región atlántica se presenta como la más fresca de Uruguay y promisorio para contrarrestar los efectos del cambio climático en la producción vitícola.

3.9 BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Villaverde V, Boso S, Santiago JL, Gago P, Martínez MC. 2008. Relationship between susceptibility to botrytis bunch rot and grape cluster morphology in the *Vitis vinifera* L. Cultivar Albarino. International Journal of Fruit Science, 8(4): 251 - 265.
- Baciocco KA, Davis RE, Jones G. 2014. Climate and Bordeaux wine quality: identifying the key factors that differentiate vintages based on consensus rankings. Journal of Wine Research, 25 (2): 75-90.

- Barbagallo MG, Guidoni S, Hunter JJ. 2011. Berry size and qualitative characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Syrah. South African Journal of Enology and Viticulture, 32 (1): 129 - 136.
- Bergqvist J, Dokoozlian A, Ebisuda N. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin Valley of California. American Journal of Enology and Viticulture, 52 (1): 1-7.
- Blancquaert EH, Oberholster A, Ricardo-da-Silva JM, Deloire AJ. 2019. Effects of abiotic factors on phenolic compounds in the grape berry - A review. South African Journal of Enology and Viticulture, 40 (1): 1-14.
- Boso S, Santiago JL, Martínez MC. 2008. The influence of 110-Ritcher and SO4 rootstocks on the performance of scions of *Vitis vinifera* L. cv. Albariño clones. Spanish Journal of Agricultural Research, 6 (1): 96-104.
- Brandt M, Scheidweiler M, Rauhut D, Patz C, Will F, Zorn H, Stoll M. 2019. The influence of temperature and solar radiation on phenols in berry skin and maturity parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. 21th GIESCO International Meeting, (March): 261 - 276.
- Butrosse M. 1970. Fruitfulness in grapevines: the response of different cultivars to light, temperature and day length. Vitis, 9: 121 - 125.
- Campbell-Clause JM. 1998. Stomatal response of grapevines to wind. Australian Journal of Experimental Agriculture, 38 (1): 77 - 82.
- Cancela JJ, Trigo-Córdoba E, Martínez EM, Rey BJ, Bouzas-Cid Y, Fandiño M. 2016. Effects of climate variability on irrigation scheduling in white varieties of *Vitis vinifera* (L.) of NW Spain. Agricultural Water Management, 170 (2016) : 99 - 109.
- Carbonneau A. 1995. La surface foliaire exposée – guide pour sa mesure. Le Progres Agricole et Viticole, 9: 204 - 212.

- Carey A. 2001. Spatial characterisation of natural terroir units for viticulture in the Bottelaryberg-Simonsberg-Helderber winegrowing area. Master thesis on Master of Agricultural and Forestry Sciences. University of Stellenbosch. South Africa. 132 p.
- Carey VA, Archer E, Barbeau G, Saayman D. 2008. Viticultural *terroirs* in Stellenbosch, South Africa. II. The interaction of Cabernet-Sauvignon and Sauvignon Blanc with environment. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42 (4): 185 - 201.
- Carmo Vasconcelos M, Greven M, Winefield C, Trought CT, Raw V. 2009. The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. *Journal of Fluorine Chemistry*, 60 (4): 411 - 434.
- Carrau F, Boido E, Gaggero C, Medina K, Fariña L, Disegna E, Dellacassa E. 2011. *Vitis vinifera* Tannat, characterization and functional properties. Ten years of research. *Multidisciplinary Approaches on Food Science and Nutrition for the XXI Century*, 661 (2): 53 - 71.
- Carrau F, Medina K, Pérez G, Gaggero C, Barquet M, Urruty M, Designa E, Coniberti A, Ferrari V, Martin V, Canoura C, Medina M, Fariña L, Boido E, Dellacassa E. 2012. *Vitis vinifera* Tannat, el resultado de un trabajo de Investigación multidisciplinario. *Revista Digital Universitaria*, 1-17.
- Cholet C, Claverol S, Claisse O, Rabot A, Osowsky A, Dumot V, Ferrari G, GénY L. 2016. Tartaric acid pathways in *Vitis vinifera* L. (cv. Ugni blanc): A comparative study of two vintages with contrasted climatic conditions. *BMC Plant Biology*, 16 (1): 1 - 18.
- Conde C, Silva P, Fontes N, Dias A, Tavares R, Sousa M, Agasse A, Delort S, Gerós H. 2007. Biochemical Changes throughout Grape Berry Development and Fruit Wine Quality. *Food*, 1 (1): 1 - 22.
- 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.

- 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.
- Coombe BG, McCarthy MG. 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6: 131 - 135.
- Deloire A. 2011. The concept of berry sugar loading. *Wineland magazine*, (January 2011): 81 - 83.
- Deloire A, Carbonneau A, Wang Z, Ojeda H. 2004. Vine and water a short review. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 38 (1): 1 - 13.
- Deloire A, Ojeda H, Zebic O, Bernard N, Hunter JJ, Carbonneau A. 2006. Influencia del estado hídrico del viñedo en el tipo de vino. *Revista internet de viticultura y enología*, 11 (1): 1 - 8.
- Diéguez SC, Lois LC, Gómez EF, de la Pña MLG. 2003. Aromatic composition of the *Vitis vinifera* grape Albariño. *LWT - Food Science and Technology*, 36 (6): 585 - 590.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Dougherty PH. 2012. Introduction to the geographical study of viticulture and wine production. En: Dougherty PH (ed.). *The Geography of Wine*. Springer, Dordrecht, 3 - 36
- Downey MO, Harvey JS, Robinson SP. 2003. Analysis of tannins in seeds and skins of Shiraz grapes throughout berry development. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 9 (1): 15 - 27.
- Dumas V, Lebon E, Morlat R. 1997. Differentiation of local climate in the Alsatian vineyard. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 31 (1): 1 - 9.
- Echeverría G, Ferrer M, Camussi G, González-Neves G, Hernández J, Pedocchi R, Montaña A, Michelazzo M, Califfra A, Allaume F. 2011. Delimitación de

- Terroirs* vitícolas en la región de Colonia del Sacramento, CNICA Uruguay. Cangué, 3: 133 - 138.
- Edo-Roca M, Nadal M, Lampreave M. 2013. How *terroir* affects bunch uniformity, ripening and berry composition in *Vitis vinifera* cvs. Carignan and Grenache. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 47 (1): 1 - 20.
- Ferrer M, Abella JM, Sibille I, Camussi G, González-Neves G. 2004. Determination of bud fertility as a simple method for the determination of harvesting volume in *Vitis vinifera* L. cv Tannat, using two pruning systems. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 38 (1): 49 - 53.
- Ferrer M, Camussi G, Avondet R, Salvarrey J, Fourment M. 2011. Comportamiento agronómico y potencial enológico de la uva Tannat en tres regiones climáticas uruguayas. Agrociencia Uruguay, 15 (1): 37 - 49.
- Ferrer M, Camussi G, Neves GG, Echeverría G, Montaña A. 2009. Condiciones predisponentes para la podredumbre de racimo: clima, variedad y técnicas de cultivo. Revista Enología, 41 - 10.
- 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, Echeverría G, Pereyra G, González-Neves G, Pan D, Mirás-Avalos JM. 2020a. 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.
- Ferrer M, Echeverría G, Pereyra G, Salvarrey J, Arrillaga L, Fourment M. 2018. Variación del clima de un *Terroir* y su consecuencia sobre la respuesta de la vid. E3S Web of Conferences, 5001002.

- Ferrer M, González-Neves G, Burgeño J, Gabard J, Camussi G. 1997. Influencia de la intensidad de la poda y el raleo de racimos sobre la relación fuente fosa en *Vitis vinífera* L. Cv. Tannat. Congrès Mondial de la Vigne du Vin, Buenos Aires, s.p.
- Ferrer M, Pereyra G, Salvarrey J, Arrillaga L, Fourment M. 2020b “Tannat” (*Vitis vinifera* L.) as a model of responses to climate variability. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 5: 941-946.
- Fourment M, Ferrer M, González-Neves G, Barbeau G, Bonnardot V, Quénot H. 2017. Tannat grape composition responses to spatial variability of temperature in an Uruguay’s coastal wine region. *International Journal of Biometeorology*, 61 (9): 1617 - 1628.
- Gaiotti F, Pastore C, Filippetti I, Lovat L, Belfiore N, Tomasi D. 2018. Low night temperature at veraison enhances the accumulation of anthocyanins in Corvina grapes (*Vitis Vinifera* L.). *Scientific Reports*, 8 (1): 1-13.
- García de Cortázar-Atauri I, Brisson N, Seguin G, Gaudillière JP, Baculat B. 2005. Simulation of budbreak date for vine. The brin model. Some applications in climate change study. En: STICS, Carry le Rouet, France: 67 - 70.
- Glories Y, Agustin M. 1992. Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. *Compte Rendu Colloque Journée Technologique*, Bordeaux, 56 - 61.
- Gómez del Campo M, Baeza P, Ruiz C, Sotés V, Lissarrague JR. 2007. Effect of previous water conditions on vine response to rewatering. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 46 (2): 51 - 55.
- González-Neves G, Barreiro L, Gil G, Franco J, Ferrer M, Moutounet M, Carbonneau A. 2004a. Anthocyanic composition of Tannat grapes from the south region of Uruguay. *Analytica Chimica Acta*, 513(1): 197 - 202.
- González-Neves G, Charamelo D, Balado J, Barreiro L, Bochicchio R, Gatto G, Gil G, Tessore A, Carbonneau A, Mourounet M. 2004b. Phenolic potential of

- Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. *Analytica Chimica Acta*, 513 (1): 191 - 196.
- González-Neves G, Ferrer M, Gil G, Charamelo D, Balado J, Barreiro L, Boichichio R, Gatto G, Tessore A. 2010. Estudio plurianual del potencial polifenólico de uvas Tannat en el sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 14 (2): 10 - 21.
- González-Neves G, Gil G, Favre G, Ferrer M. 2012. Influence of grape composition and winemaking on the anthocyanin composition of red wines of Tannat. *International Journal of Food Science and Technology*, 47 (5): 900 - 909.
- Greer D, Rogiers S. 2009. Water flux of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz bunches throughout development and in relation to late-season weight loss. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60 (2): 155 - 63.
- 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*, 520 - 549.
- Harbertson JF, Picciotto EA, Adams DO. 2003. Measurement of Polymeric Pigments in Grape Berry Extract and Wines Using a Protein Precipitation Assay Combined with Bisulfite Bleaching. *American Journal of Enology and Viticulture*. 54(4), 301–306.
- Hunter JJ, Volschenk CG, Zorer R. 2016. Vineyard row orientation of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz/101-14 Mgt: Climatic profiles and vine physiological status. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228-229:104-19.
- INAVI (Instituto Nacional de Vitivinicultura). 2019. Estadísticas de Viñedos 2019. [En línea] 30 marzo 2020. <http://www.inavi.com.uy/vinedos/estadisticas/>
- Ipach R, Huber B, Hofman H, Baus O. 2005. Richtlinie zur Prüfung von Wachstumsregulatoren zur Auflockerung der Traubenstruktur und zur Vermeidung von Fäulnis an Trauben. EPPO-guideline, 5 p.

- Jackson D, Lombard P. 1993. Environmental and Management Practices Affecting Grape Composition and Wine Quality - A Review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44 (4): 409 - 430.
- Jackson R. 2008. *Wine Science Principles and Applications*. London: Elsevier. 789 p.
- Jones G V., Duff AA, Hall A, Myers JW. 2010. Supplemental Data for: Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61 (3): 313 - 326.
- Jones G V., Hellman E. 2003. Site Assessment. En: Jones GV, Hellma E. (eds.). *Oregon Viticulture*. Oregon. 44-50.
- Keller M. 2015. Botany and Anatomy. En: Keller M. (ed.). *Science of Grapevines*. London: Elsevier. 1-57.
- Keller M. 2010. Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(SUPPL. 1): 56 - 69.
- Kliewer WM, Dokoozlian NK. 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.
- Koundouras S. 2018. Environmental and viticultural effects on grape composition and wine sensory properties. *Elements*, 14 (3): 173 - 178.
- Lakso AN, Kliewer WM. 1975. The Influence of Temperature on Malic Acid Metabolism in Grape Berries. *Plant Physiology*, 56 (3): 370 - 372.
- Martínez-Lüscher J, Kizildeniz T, Vucetic V, Dai Z, Luedeling E, Van Leeuwen C. 2016. Sensitivity of grapevine phenology to water availability, temperature and CO₂ concentration. *Frontiers in Environmental Science*, 4(JUL): 1 - 14.
- Mateus N, Machado JM, De Freitas V. 2002. Development changes of anthocyanins in *Vitis vinifera* grapes grown in the Douro Valley and concentration in respective wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(14), 1689-1695.

- Martinez De Toda F, Balda P. 2015. Quantifying the effect of temperature on decoupling anthocyanins and sugars of the grape (*Vitis vinifera* L. 'Maturana Tinta de Navarrete'). *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 54 (3): 117 - 120.
- MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca). 2015. Descripción de Grupos de Suelos CO.N.E.A.T. Montevideo: Renare-MGAP, 62 p.
- Molitor D, Junk J, Evers D, Hoffmann L, Beyer M. 2014. A high-resolution cumulative degree day-based model to simulate phenological development of grapevine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65 (1): 72 - 80.
- 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.
- OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). 2009. Recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts. Paris: OIV. 388 p.
- Ojeda H, Deloire A, Carbonneau A. 2001. Influence of water deficits on grape berry growth H. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 40 (3): 141 - 145.
- Parker AK, García de Cortázar-Atauri I, Géný L, Spring JL, Destrac A, Schultz H, Molitor D, Lacombe T, Garca A, Monamy C, Stoll M, Storchi P, Trought C, Hofmann R, Van Leeuwen C. 2020. Temperature-based grapevine sugar ripeness modelling for a wide range of *Vitis vinifera* L. cultivars. *Agricultural and Forest Meteorology*, (September 2019): 285-286.
- Pouget R. 1968. Nouvelle conception du seuil de croissance chez la vigne. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 7: 201 - 205.
- Sadras VO, Moran MA. 2012. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18 (2): 115 - 122.
- Sánchez LA, Dokoozlian NK. 2005. Bud microclimate and fruitfulness in *Vitis vinifera* L. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56 (4): 319 - 329.

- Santos JA, Fraga H, Malheiro AC, Moutinho-Pereira J, Dinis LT, Correia C. 2020. A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10 (9) : 1 - 28.
- Scholander P, Hammerl H, Bransbsreete P, Hamminsgen E. 1965. Sap pressure in vascular plant. *Plant Science*, 14 (8): 339 - 346.
- Schultz HR, Jones G V. 2010. Climate induced historic and future changes in viticulture. *Journal of Wine Research*, 21 (2): 137 - 145.
- Silva A, Docampo R, Camejo C, Barboza C. 2018. Inventario de los suelos bajo viña del Uruguay. Montevideo: INIA, 166 p.
- Smart R, Robinson M. 1991. Sunlight into wine; a handbook for winegrape canopy management. Adelaide: Winetitles, 88 p.
- Spayd SE, Tarara JM, Mee DL, Ferguson JC. 2002. Separation of light and temp on Merlot. *American Journal of Enology and Viticulture*, 3 (December 2001): 171 - 182.
- Sweetman C, Sadras VO, Hancock RD, Soole KL, Ford CM. 2014. Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *Journal of Experimental Botany*, 65 (20): 5975 - 5988.
- Torregrosa L, Bigard A, Doligez A, Lecourieux D, Rienth M, Luchaire N, Pieri P, Chatbanyoung R, Shahood, R, Farnos M, Roux C, Pillet J, Sire Y, Zumstein E, Veyret M, Le Cunff L, Lecourieux F, Saurin N, Muller B, Ojeda H, Houel C, Péros JP, This P, Pellogrino A, Romieu C. Developmental, molecular and genetic studies on grapevine response to temperature open breeding strategies for adaptation to warming. *Oeno One*, 51 (2): 155 - 165.
- Ubalde JM, Sort X, Zayas A, Poch R M. 2010. Effects of soil and climatic conditions on grape ripening and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Journal of Wine Research*, 21(1), 1-17.
- Van Leeuwen C, Tregoat O, Choné X, Bois B, Pernet D, Gaudillière 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?. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 43 (3): 121 - 134.
- Van Leeuwen C, Bois B., Garnier C, Agut C, Baculat B, Barbeau G, Besnard E, Bois B, Boursiquot J, Chuine I, Dessupt T, Dufourcq T, Gracia-Cortazar I, Marguerite E, Monamy C, Koundouras S, Payan J, Parker A Renouf V, Rodriguez-Lovelle B, Roby J, Tonietto J, Trambouze W. Heat requirements for grapevine varieties is essential information to adapt plant material in a changing climate. VIIth International *terroir* Congress, (Changins, Switzerland), 222 - 227.
- Van Leeuwen C, Friant P, Xavier C, Tregoat O, Koundouras S, Dubourdieu D. 2004. Influence of climate, soil, and cultivar on *terroir*. *American Journal of Enology and Viticulture*, (55) 207 - 217.
- Vila H, Paladino S, Nazralla J, Lucero C. 2010. Manual de calidad de uva. Mendoza: Ediciones INTA. 96 p.
- Vilanova M, Fandiño M, Frutos-Puerto S, Cancela JJ. 2019. Assessment fertigation effects on chemical composition of *Vitis vinifera* L. cv. Albariño. *Food Chemistry*, 278(September 2018): 636-43.
- Vilanova M, Vilariño F. 2006. Influence of geographic origin on aromatic descriptors of Spanish Albariño wine. *Flavour and Fragrance Journal*, 21 (2): 373 - 378.
- Winkler AJ, Cook JA, Kliewer WM, Lider LA. 1974. General Viticulture. California: University of California, 710 p.
- Zamuz S, Diaz R, Vilanova M. 2006. Aromatic diversity of *Vitis vinifera* cv Albariño quantification of aromatic potential. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 40 (4): 197 - 202.

Capítulo 4: CONCLUSIONES

La región atlántica fue caracterizada en base a información climática brindada por estaciones meteorológicas, donde se obtuvieron índices más frescos en comparación con el sur, principalmente en los valores de temperaturas extremas durante el periodo de maduración de la uva. La presencia del océano atlántico, proporcionó más intensidad de viento en los meses estivales (+2,1 m/s), siendo máxima entre las 14 y 18 HL, lo que permitió reducir la temperatura ambiente hasta 7 °C (momento del día donde la vid presenta mayor estrés térmico). De esta manera, la región este se posiciona como la zona más fresca de Uruguay, siendo prometedora para la obtención de vinos equilibrados y aromáticos, en un contexto actual y futuro de cambio climático sobre aumento de la temperatura global. No obstante, al comparar las estaciones ubicadas dentro de esta región, se encontraron diferencias estadísticas entre ellas, principalmente en la amplitud térmica, debidas mayormente a la situación topografía. Estas diferencias remarcan la importancia del estudio a escalas mayores o más finas como el análisis meso climático llevado a cabo en el presente trabajo.

El comportamiento térmico a meso-escala en la zona atlántica registró una marcada variabilidad temporal entre años generada por los 350 mm más de precipitaciones ocurridos entre los meses de noviembre y enero en el ciclo 2018-19. Las plantas de los cv. Tannat y cv. Albariño respondieron al efecto año en cuanto a su respuesta fisiológica, el desarrollo, el crecimiento y la calidad de la uva. No obstante, las variedades mostraron una sensibilidad diferencial al clima en los diferentes parámetros de respuesta de la planta y composición de la uva. Por consiguiente, las precipitaciones en las zonas costeras, son uno de los principales factores generadores de variabilidad interanual de la calidad de la uva. Sin embargo, conocer cuál es su efecto específico en los diferentes cultivares permitirá dirigir estrategias agronómicas que permitan mitigar los efectos indeseados en la producción.

A pesar de las diferencias climáticas entre años, las temperaturas moderadas de la región atlántica fueron evidenciadas en el estudio. ND35 no diferenció años, remarcando la importancia del océano atlántico como un agente regulador de la temperatura máxima. Esto quedó demostrado en la calidad de uvas de Tannat donde

ambos años las parcelas obtuvieron concentraciones de acidez, ácido málico y antocianos (ApH1 y ApH3.2) por encima de las referencias de esta misma variedad en Canelones (+0,5 g/l, +1.5 g/l, +723 mg/l y +214 mg/l respectivamente). Albariño por su parte, se comportó similar a los valores reportados por trabajos en Galicia, España (lugar de origen y de mayor adaptabilidad de la variedad) en los parámetros agronómicos y de calidad de uva. De esta manera, la costa atlántica uruguaya resulta prometedora para el cultivo de uvas de esta variedad blanca para la obtención de vinos de calidad.

La realización de mapas topográficos a través de SIG permitió comprender la geografía de la región en estudio. La topografía en interacción con la exposición al océano explicó la variabilidad espacial de la temperatura en cada parcela. En detalle y en orden de relevancia, la altitud, la pendiente y la exposición fueron los tres factores analizados que condicionaron la temperatura de los viñedos bajo estudio. De esta manera las parcelas con mayor altitud y por consiguiente mayor exposición a los vientos oceánicos presentaron una diferencia de hasta 2,5 °C menos en la TA y una reducción de la temperatura máxima durante el verano de 1,5 °C. Estas diferencias espaciales en la temperatura de las parcelas se tradujeron en la composición de la uva. Sin embargo, la sensibilidad de cada variedad a las condiciones climáticas muestra diferencias en los metabolitos tanto primarios como secundarios. Las uvas de Tannat provenientes de las parcelas en zonas bajas presentan en promedio 0,010 g/g baya de acumulación de SST y 4,5, 707 mg/l y 166 mg/l más de concentración de IPT, ApH1 y ApH 3,2 respectivamente en comparación a las zonas altas. Las uvas de las parcelas en zonas altas obtuvieron 1,37 g/l más concentración de ácido málico. El principal indicador afectado en Albariño fue la acidez titulable, donde las uvas provenientes de las parcelas en zonas altas presentaron 0,8 g/l más.

La conjunción del estudio climático con el comportamiento de los cultivares de Albariño y Tannat, permitió estudiar de manera global el *terroir* atlántico. El trabajo realizado marca el primer antecedente del estudio de esta región en interacción con la vida y la primera evaluación de Albariño en el país. El mismo, también señala las diferencias climáticas y de comportamiento de las uvas de Tannat que existen entre la

zona este y la zona tradicional sur y las diferencias de uvas de Albariño con su sitio de mayor adaptación, Galicia España. De esta manera, se establecen las bases del comportamiento del nuevo *terroir* Atlántico, el cual resulta prometedor para el desarrollo de la viticultura nacional. Asimismo, se detalla la presencia de una variabilidad espacial y temporal de la temperatura que repercute en el comportamiento de las vides a nivel de meso escala. Cuales por todo lo anterior, que conocer en detalle la sensibilidad varietal al mesoclima permitirá dirigir practicas agronómicas eficientes para contrarrestar los efectos no deseados y potenciar la tipicidad de la uva de la región. De esta manera, permitirá a las bodegas uruguayas consolidar un producto diferenciado y de calidad en los mercados. No obstante, existe la necesidad de seguir profundizando en el comportamiento de la vid en esta prometedora nueva zona vitícola que le permita establecerse como un *terroir* destacado a nivel nacional e internacional.

5. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Barry R, Chorley R. 2010. Atmosphere, weather and climate. New York: Routledge. 2339 p.
- Bergqvist J, Dokoozlian A, Ebisuda N. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central San Joaquin Valley of California. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(1): 1 - 7
- Blanco-Ward D, García Queijeiro JM, Jones G V. 2007. Spatial climate variability and viticulture in the Miño River Valley of Spain. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 46(2): 63-70.
- Blancquaert EH, Oberholster A, Ricardo-da-Silva JM, Deloire AJ. 2019. Effects of abiotic factors on phenolic compounds in the grape berry - A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 40 (1): 1-14.
- Bois B, Van Leeuwen C, Pieri P, Gaudillere J, Saur E, Joly D, Wald L, Grimal D. 2008. Viticultural agroclimatic cartography and zoning at mesoscale level using terrain information, remotely sensed data and weather station measurements. Case study of Bordeaux winegrowing area. En: VII Internacional *terroir* Congress (Changins, Switzerland), 455 - 462 p.
- Bonnardot V, Carey V, Madelin M, Cautenet S, Coetzee Z, Quénot H. 2012. Spatial variability of night temperatures at a fine scale over the Stellenbosch wine district, SOUTH AFRICA. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 46(1): 1 - 13.
- Bonnardot V, Planchon O, Carey V, Cautenet S. 2002. Diurnal Wind, Relative Humidity and Temperature Variation in the Stellenbosch-Groot Drakenstein Wine-Growing Area. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 23(2): 62 - 71.
- Bonnefoy C, Quenol H, Bonnardot V, Barbeau G, Madelin M, Planchon O, Neethling E. 2013. Temporal and spatial analyses of temperature in a French wine-

- producing area: The Loire Valley. *International Journal of Climatology*, 33(8): 1849 - 1862.
- Boso S, Santiago JL, Martínez MC. 2008. The influence of 110-Ritcher and SO₄ rootstocks on the performance of scions of *Vitis vinifera* L. cv. Albariño clones. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6 (1): 96-104.
- Carey VA, Archer E, Barbeau G, Saayman D. 2008. Viticultural *terroirs* in Stellenbosch, South Africa. II. The interaction of Cabernet-Sauvignon and Sauvignon Blanc with environment. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 42 (4): 185 - 201.
- Conde C, Silva P, Fontes N, Dias A, Tavares R, Sousa M, Agasse A, Delort S, Gerós H. 2007. Biochemical Changes throughout Grape Berry Development and Fruit Wine Quality. *Food*, 1 (1): 1 - 22.
- Deloire A, Vaudour E, Carey V, Bonnardot V, Van Leeuwen C. 2005. Grapevine responses to *terroir*: a global approach. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 39(4): 149 - 162.
- Diéguez SC, Lois LC, Gómez EF, de la Pña MLG. 2003. Aromatic composition of the *Vitis vinifera* grape Albariño. *LWT - Food Science and Technology*, 36 (6): 585 - 590.
- Elaydi R, McLaughlin J. 2012. Cultivating terroir in subsistence markets: Development of terroir strategy through harmony-with-community framework. *Journal of Business Research*, 65 (12): 1743 - 1748.
- Ferrer M, Echeverría G, Pereyra G, González-Neves G, Pan D, Mirás-Avalos JM. 2020. 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.
- Ferrer M, Echeverría G, Pereyra G, Salvarrey J, Arrillaga L, Fourment M. 2018. Variación del clima de un *Terroir* y su consecuencia sobre la respuesta de la vid. *E3S Web of Conferences*, 5001002.

- 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 Delimitation and description of grape-growing regions of Urugu. *Agrociencia*, 6: 47 - 56.
- Fourment M, Ferrer M, González-Neves G, Barbeau G, Bonnardot V, Quénot H. 2017. Tannat grape composition responses to spatial variability of temperature in an Uruguay's coastal wine region. *International Journal of Biometeorology*, 61 (9): 1617 - 1628.
- González-Neves G, Barreiro L, Gil G, Franco J, Ferrer M, Moutounet M, Carbonneau A. 2004. Anthocyanic composition of Tannat grapes from the south region of Uruguay. *Analytica Chimica Acta*, 513(1): 197 - 202.
- González-Neves G, Ferrer M, Gil G, Charamelo D, Balado J, Barreiro L, Bochicchio R, Gatto G, Tessore A. 2010. Estudio plurianual del potencial polifenólico de uvas Tannat en el sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 14 (2): 10 - 21.
- Hall A, Jones G V. 2010. Spatial analysis of climate in winegrape-growing regions in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(3): 389-404.
- INAVI (Instituto Nacional de Vitivinicultura). 2019a. Estadísticas de Viñedos 2019. [En línea] 30 marzo 2020. <http://www.inavi.com.uy/vinedos/estadisticas/>
- INAVI (Instituto Nacional de Vitivinicultura). 2019b. Estadísticas De Viñedos 2019 Datos Departamentales. [En línea] 30 marzo 2020. <http://www.inavi.com.uy/vinedos/estadisticas/>
- INAVI (Instituto Nacional de Vitivinicultura). 2020. Pagina web institucional. [En línea] 30 marzo 2020. <http://www.inavi.com.uy/que-es-inavi/>
- INIA-GRAS (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – Unidad de Agroclima y Sistemas Informáticos). 2020. Caracterización Agroclimática [En línea] 15 marzo 2020. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Caracterización-agroclimática>.

- Jackson D, Lombard P. 1993. Environmental and Management Practices Affecting Grape Composition and Wine Quality - A Review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44 (4): 409 - 430.
- Jones G V., Duff AA, Hall A, Myers JW. 2010. Supplemental Data for: Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61 (3): 313 - 326.
- Keller M. 2010. Managing grapevines to optimise fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16: 56-69.
- Matese A, Crisci A, Di Gennaro SF, Primicerio J, Tomasi D, Marcuzzo P, Guidoni S. 2014. Spatial variability of meteorological conditions at different scales in viticulture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189-190: 59-67.
- 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.
- OIV (Organización Internacional de la Uva y el Vino). 2020. OIV Búsqueda avanzada en la base de datos [en línea] 5 abril. <http://www.oiv.int/es/statistiques/recherche>
- Quénol H, Bonnardot V. 2014. A Multi-Scale climatic analysis of Viticultural Terroirs in the context of Climate Change: The TERADCLIM Project. *Journal International Science Vigne Vine*, (January): 25-34.
- Schultz HR, Jones G V. 2010. Climate induced historic and future changes in viticulture. *Journal of Wine Research*, 21 (2): 137 - 145.
- Silva A, Docampo R, Camejo C, Barboza C. 2018. Inventario de los suelos bajo viña del Uruguay. Montevideo: INIA, 166 p.
- Sweetman C, Sadras VO, Hancock RD, Soole KL, Ford CM. 2014. Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *Journal of Experimental Botany*, 65 (20): 5975 - 5988.

Uruguay Natural. 2020. Uruguay Wine. [En línea] 30 marzo.
<https://www.uruguay.wine/en/regions>

Uruguay XXI. 2020. Uruguay XXI – Noticias. [En línea] 30 marzo 2020
<https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/noticias/>

Van Leeuwen C, Seguin G. 2006. The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, 17(1): 1-10.