

ADAPTACIÓN DE VARIETADES TINTAS DE VID A LA REGIÓN MAR Y SIERRAS (PROVINCIA DE BUENOS AIRES) BAJO UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Carlos Alberto Godoy^{1*} y Andrea Irigoyen²

¹ Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Fruticultura

² Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Climatología Agrícola

*E-mail: carlosgodoy@mdp.edu.ar

Recibido: 09/08/2023

Aceptado: 30/07/2024

RESUMEN

La temperatura y las precipitaciones constituyen los factores que más afectan la composición y calidad de la uva. Los índices bioclimáticos suelen emplearse para predecir los cambios en el clima y anticipar el grupo de variedades que, según su período de maduración, se adaptaría a las condiciones futuras. Este trabajo predice cambios a corto plazo (2029-2039) bajo un escenario moderado de emisión de gases (RCP 4.5) mediante el empleo de dos índices bioclimáticos, el heliotérmico de Huglin (IH; que relaciona la temperatura media durante el período vegetativo con el potencial azucarino de las uvas) y el de frescor nocturno (FN; que relaciona la temperatura mínima media del mes de maduración de las uvas con su contenido de metabolitos secundarios –polifenoles, aromas–), y su impacto potencial sobre la adaptación de variedades tintas de vid con distinto período de maduración a la región Mar y Sierras, provincia de Buenos Aires. Si se verifica dicho escenario, el FN aumentaría y modificaría el proceso de maduración de las uvas en variedades de maduración precoz, como Merlot, y en variedades de maduración medio-temprana, como Cabernet Franc. Consecuentemente, disminuiría la intensidad del color con la consiguiente pérdida de tipicidad. Tannat, de maduración medio-tardía, en el corto plazo alcanzaría a satisfacer sus requerimientos de tiempo térmico (IH) para la maduración azucarina de las bayas. Por otro lado, las variedades de maduración tardía, como Bonarda, se verían afectadas por el incremento de las precipitaciones en el área costera.

Palabras clave: corto plazo, índice de frescor nocturno, índice de Huglin, RCP 4.5, *Vitis vinifera* L.

ADAPTATION OF RED GRAPE VARIETIES TO THE MAR Y SIERRAS REGION (BUENOS AIRES PROVINCE) UNDER A CLIMATE CHANGE SCENARIO

ABSTRACT

Temperature and precipitation are the factors that most affect the composition and quality of the grapes. Bioclimatic indices are usually used to predict changes in climate and anticipate the group of varieties that, depending on their ripening time, would adapt to future conditions. This work predicts short-term changes (2029-2039) under a moderate greenhouse gas emission scenario (RCP 4.5) through the use of two bioclimatic indices, the Heliothermal index of Huglin (IH; which relates the average temperature during the vegetative period with the sugar potential of grapes) and the Cool night index (FN; which relates the average minimum temperature of the month of ripening of the grapes with their content of secondary metabolites –polyphenols, aromas–), and its potential impact on the adaptation of red vine varieties with different ripening period to the Mar y Sierras region, province of Buenos Aires. If this scenario is verified, the FN would increase and change the ripening process of the grapes in early ripening varieties, such as Merlot, and in medium-early ripening varieties, such as Cabernet Franc. Consequently, the intensity of the colour would decrease with the consequent loss of typicity. Tannat, a medium-late ripening variety, in the short term would be able to satisfy its thermal time (IH) requirements for the sugar ripening of the berries. On the other hand, late-maturing varieties, such as Bonarda, would be affected by increased rainfall in the coastal area.

Key words: short term, cool night index, heliothermal index, RCP 4.5, *Vitis vinifera* L.

INTRODUCCIÓN

La Argentina es uno de los mayores productores de uva del mundo y Mendoza es la región más importante, representando un 71% del total. Le sigue en importancia la provincia de San Juan, con un 21% de la producción nacional. El 92% de la superficie destinada a vid corresponde a variedades aptas para elaboración de vinos y/o mostos, predominando las variedades tintas, que representan el 59% del total de este segmento (INV, 2022).

En los últimos años, en la región Mar y Sierras, que comprende los partidos de Gral. Pueyrredón, Balcarce y Tandil, se han implantado viñedos comerciales que se encuentran en una etapa inicial de experimentación y desarrollo. Algunos emprendimientos tienen como objetivo la producción de vinos de alta gama, habiendo reconocido el Instituto Nacional de Vitivinicultura dos indicaciones geográficas: Chapadmalal (Res. 20/2014) y Balcarce (Res. 11/2022), correspondientes a áreas distintas desde un punto de vista mesoclimático (Godoy y Gancedo Desgens, 2022). La superficie destinada a viñedos en la región Mar y Sierras era de 56 ha en el 2021 (INV, 2022), encontrándose en plena expansión. Dentro de las variedades tintas se cultivan principalmente Pinot Noir, Tannat y Cabernet Franc; estas dos últimas localizadas exclusivamente en el área serrana (INV, 2023).

A nivel global, una larga historia en el cultivo de la vid ha dado como resultado que los vinos más finos se asocien con determinadas regiones vitivinícolas. El clima de dichas regiones influye profundamente en la producción de uvas de elevada calidad y por lo tanto en la obtención de vinos finos. En general, las variedades de vid que se pueden cultivar y el estilo de vino que se produce en una región determinada son el resultado del clima, en tanto que la variabilidad interanual determina las diferencias de calidad entre cosechas. Si bien hay muchos factores climáticos que pueden afectar el desarrollo de las uvas, la duración de la temporada de crecimiento y las temperaturas son aspectos críticos en la maduración de las bayas (Jones *et al.*, 2005).

El impacto del cambio climático resultaría especialmente crítico para los cultivos perennes como la vid (Cabré y Núñez, 2020), siendo posible que el clima se modifique durante su ciclo de vida, dado que la planta puede permanecer económicamente productiva por 50 a 60 años (Bindi *et al.*, 1996). El incremento de las temperaturas conduce al adelanto en la fenología de la vid y en la acumulación de azúcares en las bayas. En un contexto de cambio climático se plantea la cuestión de

si el clima de una región continuará proporcionando a futuro condiciones óptimas de maduración para las variedades cultivadas actualmente (Parker *et al.*, 2020). Las temperaturas elevadas (> 30 °C) aceleran la maduración de las bayas, la acumulación de azúcares y la degradación del ácido málico (Salazar Parra *et al.*, 2010; Sweetman *et al.*, 2014; Arrizabalaga-Arriazu *et al.*, 2020), al mismo tiempo que desacoplan la madurez azucarina, fenólica y aromática, resultando difícil obtener vinos con una relación alcohol/ácido balanceada y una madurez fenólica completa (van Leeuwen *et al.*, 2022).

Sin embargo, dada la extensión de la Argentina y la variedad de sus climas, se prevé que el cambio climático incidirá de forma diferente en las distintas regiones del país (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2014) y se esperan efectos moderados en las regiones costeras (Duchêne *et al.*, 2010). Rössler y Barbero (2008) analizaron proyecciones de cambio climático con el modelo PRECIS ("Providing Regional Climates for Impact Studies"), considerando escenarios futuros para el período 2000-2039. Sus resultados indicaron que se ampliaría la extensión de las áreas vitivinícolas hacia el sur del país. En concordancia, Cabré *et al.* (2016) proyectaron que, hacia fines de este siglo, se intensificaría el desarrollo vitivinícola de la Patagonia sur (este de Chubut y Santa Cruz).

La predicción de las modificaciones en la distribución de los mesoclimas permitiría, por un lado, anticipar la idoneidad de cultivares con diferentes períodos de maduración frente a distintos escenarios de cambio climático. Por otro lado, posibilitaría prever la variación en el estilo de vino de un cultivar determinado (Jones *et al.*, 2005), lo que puede comprometer la percepción de tipicidad (Santos *et al.*, 2020). Si bien la valoración de tipicidad involucra una considerable subjetividad, ya que se confía al juicio de expertos, se considera un atributo importante en la formación de precios, sobre todo en vinos Premium (Ballester *et al.*, 2005; Ashton, 2016).

A fin de predecir las variaciones espaciales de las áreas vitícolas como resultado del cambio climático se suele recurrir al empleo de índices bioclimáticos basados en temperaturas medias (Jones *et al.*, 2005; Droulia y Charalampopoulos, 2022). Por ejemplo, Jones *et al.* (2005) emplearon el índice de temperatura media de la temporada de crecimiento (ITMT) para clasificar distintas variedades de vid de acuerdo a su pertenencia a distintos grupos climáticos, en los cuales la óptima maduración de las bayas daría lugar a vinos de elevada

calidad. Así, los vinos Premium de Pinot Noir se elaboran con uvas que proceden de regiones de climas frescos a templado-frescos con ITMT en el rango de 14,0-16,0 °C, en tanto los vinos Premium de Cabernet Sauvignon se elaboran con uvas que provienen de regiones más cálidas, con ITMT en el rango de 16,5-19,5 °C.

El índice heliotérmico de Huglin (IH), calculado en base a temperaturas medias registradas durante el período vegetativo de la vid, está relacionado con el potencial azucarino de las uvas. De manera complementaria, el índice de frescor nocturno (FN), calculado en base a la temperatura mínima media del mes en el que generalmente tiene lugar la maduración, se relaciona con los metabolitos secundarios (polifenoles, aromas) presentes en las bayas (Tonietto y Carbonneau, 2004).

De acuerdo con la serie histórica 2000-2020, la región Mar y Sierras, de clima templado oceánico, presenta un IH de 1800 a 2050 (templado) y un FN de 16 °C a 13 °C (noches templadas a frías) de sudeste a noroeste. Para dicho período se determinó que el área serrana satisface apropiadamente ambas necesidades térmicas para variedades tintas de maduración medio-temprana, como Cabernet Franc, particularmente en la zona de Tandil (Godoy y Gancedo Desgens, 2022), más continental. Sin embargo, posibles aumentos en las temperaturas, en un contexto de cambio climático, alterarían el espectro de variedades aptas para la región. A su vez, se debe considerar una posible modificación en la distribución de las precipitaciones, que si se producen durante la maduración de las uvas afectarían su calidad, generando un ambiente más propicio para el desarrollo de podredumbres de racimos, una de las problemáticas principales que condicionan la calidad de la vendimia en regiones de clima templado-húmedo, como es el caso de la región Mar y Sierras.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los cambios en índices bioclimáticos (IH y FN) y las precipitaciones de dos períodos, histórico (1985-2010) y futuro a corto plazo (2029-2039) bajo un escenario moderado de emisión de gases de efecto invernadero (RCP 4.5), a fin de detectar posibles variaciones resultantes del cambio climático y su eventual incidencia sobre el espectro varietal de la vid en la región Mar y Sierras.

METODOLOGÍA

Los valores de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y las precipitaciones se extrajeron de la base de datos del CIMA (2021) para la serie histórica 1985-2010 y para la serie futura 2029-2039

(modelo CCSM4), bajo un escenario moderado de emisión (RCP 4.5), correspondientes a coordenadas próximas a las localidades de Mar del Plata (-37,75°S; -57,75°O), Balcarce (-37,75°S; -58,25°O) y Tandil (-37,25°S; -59,25°O). A partir de dichos valores se calcularon para cada localidad los siguientes índices:

(i) Índice heliotérmico de Huglin (IH): se estimó desde octubre a marzo en el hemisferio sur (H.S) según la Ecuación 1 (Tonietto y Carbonneau, 2004).

$$IH = \{ \sum [(T_{md} - 10) + (T_{Mx} - 10)] / 2 \} * k$$

[Ecuación 1]

donde, T_{md} es la temperatura media diaria, T_{Mx} es la temperatura máxima diaria y k es un parámetro dependiente de la latitud ($k = 1$ a los 38° de latitud), relacionada con la duración media del día.

(ii) Índice de frescor de noches (FN): se estimó a partir de la temperatura mínima media de marzo en el H.S. (Tonietto y Carbonneau, 2004). Este índice tiene en cuenta la temperatura nocturna mínima media del mes en que generalmente transcurre la maduración de las bayas.

(iii) Las precipitaciones decádicas durante el período de maduración de las bayas.

Para el cálculo del IH y FN óptimos correspondiente a las distintas variedades se recurrió a información climática de libre disponibilidad (es.climate-data.org), tomando como referencia las regiones vitivinícolas en las cuales las variedades logran su mejor expresión definiendo su tipicidad. Los valores correspondientes a IH, FN y precipitaciones decádicas, para las series histórica (1985-2010) y futura (2029-2039), fueron ordenados de menor a mayor para su representación en diagramas de caja.

En los diagramas de caja ("box plots") la línea central corresponde a la mediana (posición central del conjunto de datos ordenados, 50% de los datos), los bordes inferior y superior de la caja corresponden al primer cuartil (25% de los datos) y al tercer cuartil (75% de los datos), respectivamente. A partir de los bordes las líneas se extienden hasta los valores mínimo y máximo (no atípicos) de cada serie de datos. El símbolo X corresponde a la media aritmética.

Se aplicaron las pruebas no paramétricas de Kolmogorov Smirnov para comparar la distribución de series climáticas dentro de una localidad y de Kruskal-Wallis

para comparar la distribución de valores entre localidades dentro de una misma serie climatológica. Los datos se analizaron con el programa Microsoft Excel (complementos: Real Statistics: Non-Parametric Tests).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parker *et al.* (2020) evaluaron distintos modelos basados en temperaturas, desarrollados para calcular el tiempo térmico necesario para alcanzar una determinada acumulación de azúcares en las bayas. Demostraron que la vid muestra una considerable diversidad fenotípica para dicha característica. Las diferencias entre cultivos brindan una oportunidad para seleccionar genotipos adecuados a este entorno cambiante, optimizando el rendimiento y la calidad del vino (Parker *et al.*, 2020).

En el presente trabajo, a fin de comparar las distintas regiones, en el cálculo de los índices bioclimáticos se consideraron los períodos estandarizados definidos para ambos hemisferios por Tonietto y Carbonneau (2004). Anteriormente, Catania *et al.* (2007) utilizaron dichos índices con los períodos preestablecidos para describir el clima de las distintas regiones vitícolas de la Argentina y González *et al.* (2009) para la caracterización climática de los oasis vitícolas de Mendoza. De acuerdo con Tonietto y Carbonneau (2004), para el IH se tomó el período que se extiende desde octubre a marzo para el hemisferio sur y desde abril a setiembre para el hemisferio norte. Para el FN se consideró el mes de marzo para el H.S. y el mes de setiembre para el H.N. (Tonietto y Carbonneau, 2004).

Cabré y Núñez (2020) evaluaron, en base a índices bioclimáticos, el impacto que el cambio climático puede tener en distintas regiones vitivinícolas de la Argentina en el cercano y largo plazo bajo dos escenarios distintos de emisión de CO₂ (RCP4.5 y RCP8.5). Para un futuro próximo no se proyectaron cambios de consideración en tiempo térmico durante el ciclo de crecimiento ni en el índice de frescor nocturno bajo ninguno de los escenarios de cambio climático considerados. Sin embargo, ambos índices se modificaron notoriamente para fines de este siglo, por lo que se vería afectado el cultivo de diferentes variedades de vid en las provincias de San Juan, La Rioja, Catamarca, Salta y en el centro-este de la provincia de Mendoza. En el departamento de San Martín (centro-este de la provincia de Mendoza), reconocido por su alta producción vitivinícola, ya se había observado una tendencia al aumento de la temperatura (Cavagnaro *et al.*, 2014). Deis *et al.* (2015) compararon dos series históricas de datos, la década de 1960 vs. la

década del 2000 y determinaron que, en general, se produjo un incremento de las temperaturas máximas en el período pre-verano a madurez. Esta situación adelantó las fechas de cosecha, tomando como referencia el contenido de sólidos solubles, al acelerarse la maduración azucarina.

Las evaluaciones a partir de escenarios climáticos como los desarrollados por el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA, 2021) pueden permitir la selección de variedades con mejor adaptación a las condiciones futuras, con la finalidad de reducir los efectos perjudiciales del cambio climático sobre la calidad de la uva. Se consideró un escenario moderado de emisión de gases (RCP 4.5), de relativamente bajo impacto, dada la extrema sensibilidad de la vid al cambio climático (Cabré y Núñez, 2020).

En la región Mar y Sierras, al comparar las series temporales histórica (1985-2010) y futura en el corto plazo (2029-2039) se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en IH para las tres localidades evaluadas (Mar del Plata, Balcarce y Tandil). En la Figura 1 se observa que Tandil presenta los mayores valores de IH, tanto históricos como futuros. En un escenario de cambio climático, se prevé para Tandil un rango de 2125 a 2290, entre el primer y tercer cuartil. En Mendoza, variedades tintas como Merlot, Malbec y Cabernet Sauvignon han logrado la máxima calidad en zonas con IH entre 2180 y 2500 (González *et al.*, 2009). Por lo tanto, Tandil, en el corto plazo (2029-2039), estaría alcanzando valores de IH más aptos para el cultivo de dichas variedades.

El FN mostró un incremento significativo ($p < 0,05$) para Mar del Plata y Balcarce (Figura 2). En cambio, para Tandil no se registró un aumento significativo ($p > 0,05$) debido a la elevada variabilidad sobre todo en la serie futura, lo que predice un efecto año muy marcado.

En base a datos climáticos de las regiones vitivinícolas en las cuales distintas variedades logran una óptima calidad que se ve reflejada en el valor de los vinos producidos, se calcularon los índices bioclimáticos IH y FN, tomándolos como referencia (Godoy y Gancedo Desgens, 2022). Las regiones donde la variedad Merlot alcanza su mayor expresión son Burdeos (Francia), Washington State (Estados Unidos) y Friuli-Venezia-Giulia (Italia), con un IH de 2000-2400 y un FN de 12,5-14 °C. Las regiones tradicionales de producción de Cabernet Franc son Burdeos y el valle del Loira (Francia), con un IH de 1700-2100 y un FN de 12-14 °C (Godoy y Gancedo Desgens, 2022). En la región Mar y Sierras, a futuro,

la suma térmica de Merlot se correspondería con los rangos calculados de IH para las regiones tradicionales de cultivo (Figura 1), pero en el caso de Cabernet Franc las condiciones térmicas se tornarían más desfavorables. Actualmente, solo en la zona de Tandil se alcanzaría, en algunos años, valores de FN dentro del rango

óptimo (Figura 2), con una tendencia a sobrepasarlo en un futuro próximo. Esto último comprometería la colocación de las bayas (Yan *et al.*, 2020; de Rosas *et al.*, 2022) y modificaría la composición aromática (van Leeuwen *et al.*, 2022), lo que implica una pérdida de la tipicidad varietal.

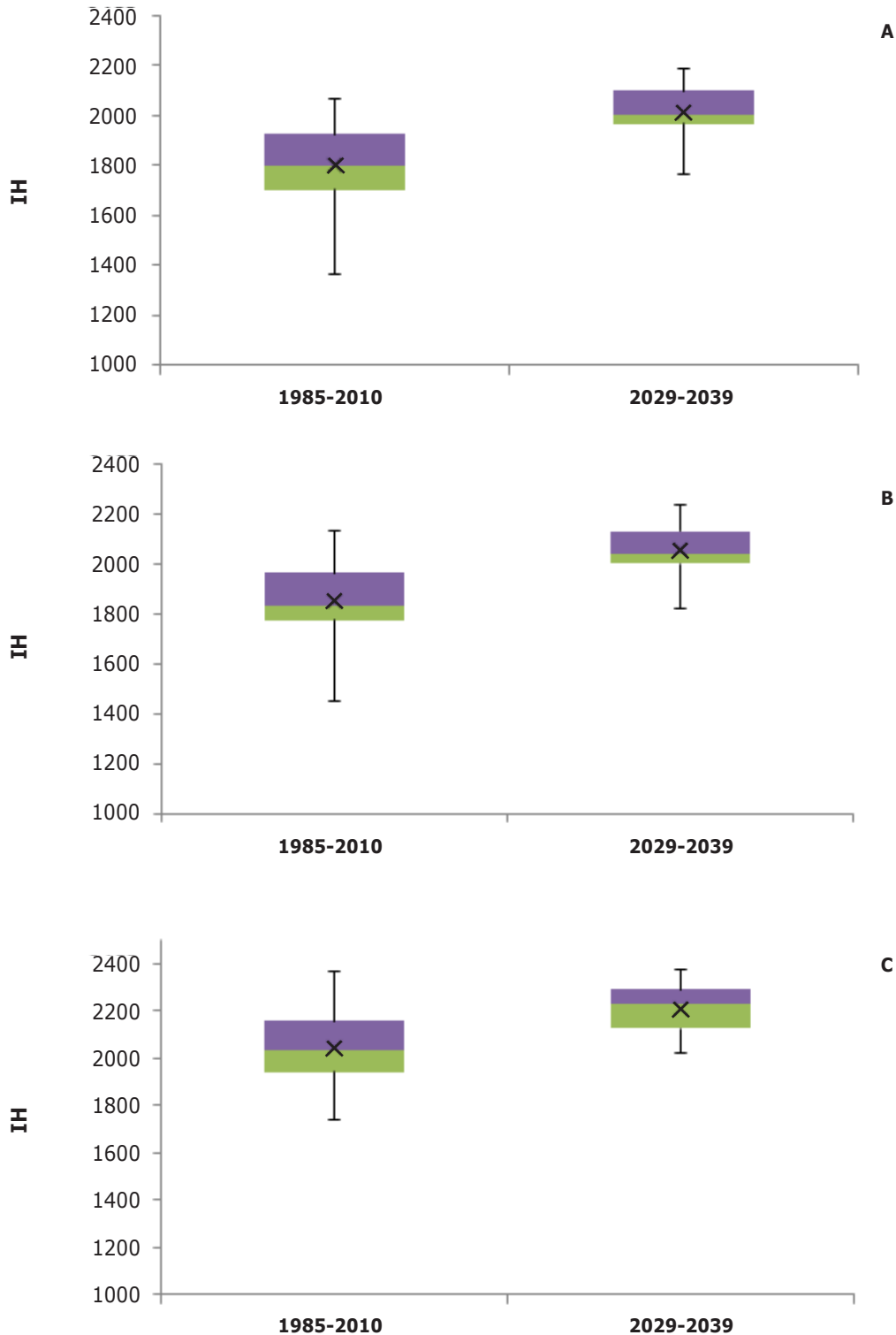


Figura 1. Diagramas de caja del índice heliotérmico de Hugel (IH) correspondiente a la serie histórica (1985-2010) y futura (2029-2039) para tres localidades de la región Mar y Sierras: (A) Mar de Plata, (B) Balcarce, (C) Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina.

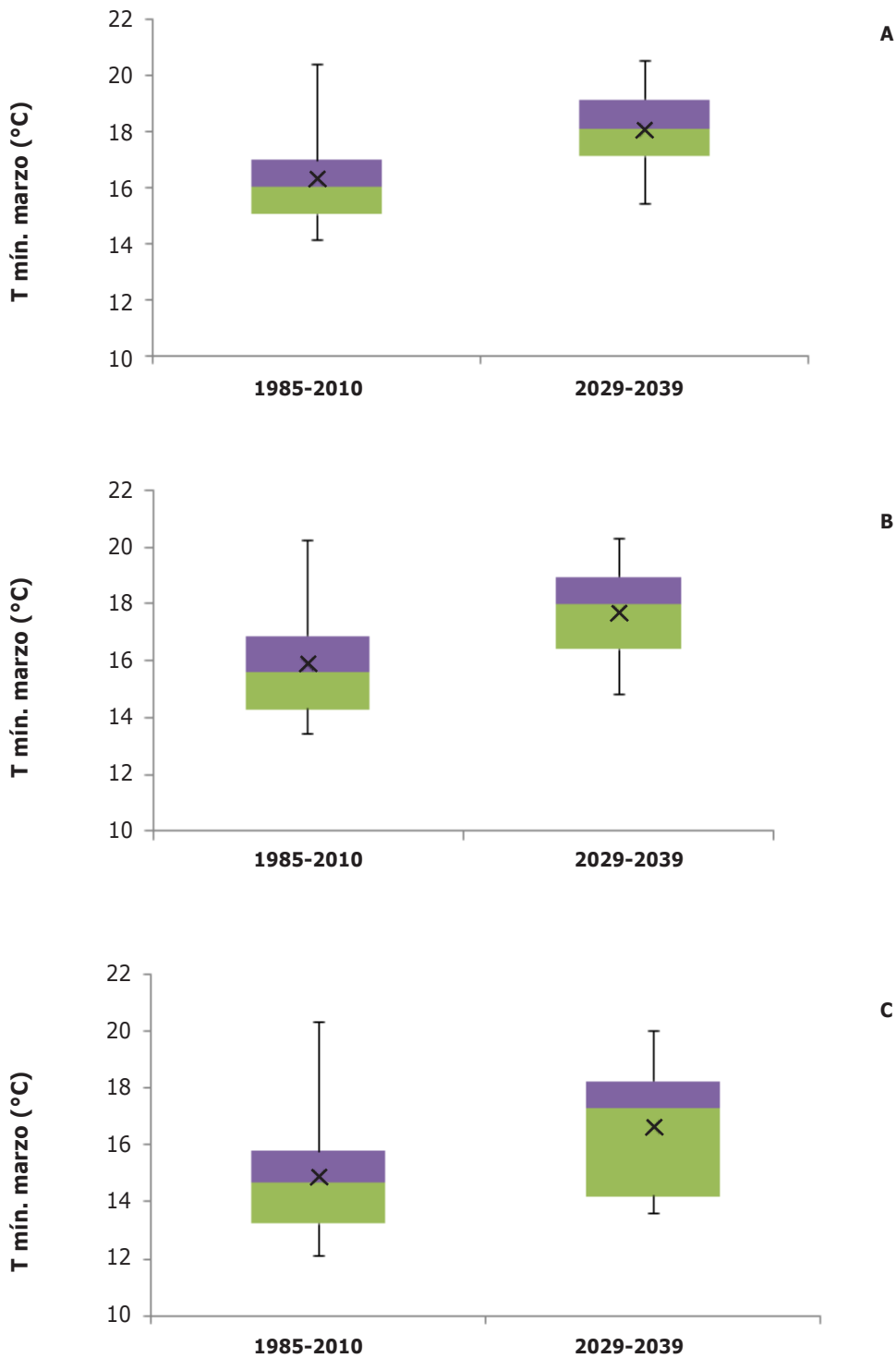


Figura 2. Diagramas de caja del índice de frescor (IF) de noches (T mín.: temperatura mínima de marzo) correspondiente a las series histórica (1985-2010) y futura (2029-2039) para tres localidades de la región Mar y Sierras: (A) Mar del Plata, (B) Balcarce, (C) Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina.

La variedad Tannat se ha cultivado históricamente en el sudoeste de Francia, no obstante, ha alcanzado su mejor expresión en el sur de Uruguay, en un rango de IH entre 2100 (Maldonado) y 2400 (Canelones), y un FN entre 16 y 17,5 °C. Tannat se considera la variedad insignia de Uruguay debido a su adaptación a las condiciones ecológicas del país y a las características peculiares

de sus vinos, con una marcada tipicidad y originalidad debido a su gran potencial enológico (González-Neves *et al.*, 2006; Fourment *et al.*, 2013). Debido al cambio en los valores de IH, en Uruguay es posible que las condiciones del sur del país se acerquen en un futuro próximo a aquellas que se presentan actualmente en el norte. En general, la uva procedente del norte de Uruguay

presenta mayor concentración de azúcares y menor acidez (Fourment *et al.*, 2013).

Se estima que, bajo el escenario a futuro, la región Mar y Sierras presentaría condiciones más propicias para el desarrollo y la maduración de las uvas de Tannat según el IH (Figura 1). De acuerdo con el FN calculado para el sur de Uruguay, las temperaturas necesarias para lograr intensidad de color en esta variedad no son tan bajas como las requeridas por las variedades tintas Malbec, Merlot y Cabernet Franc. Esto puede explicarse porque las uvas de Tannat, aún bajo las condiciones climáticas uruguayas, tienen niveles muy elevados de compuestos polifenólicos, mayores que Merlot y Cabernet Sauvignon (González-Neves *et al.*, 2004). A su vez, la composición antocianina de la piel de las bayas de la variedad Tannat, con una elevada proporción de antocianinas acetiladas (28,5% a la cosecha) (Boido *et al.*, 2011), le conferiría una mayor estabilidad frente al incremento de la temperatura (de Rosas, 2022). Por lo tanto, para la región Mar y Sierras la intensidad de color típica de Tannat no debería ser afectada por el incremento proyectado en las temperaturas mínimas de marzo en el corto plazo, sobre todo para la zona de Tandil, con una media prevista de FN de 16,7 °C.

Tannat es una variedad vigorosa y, dado que se ha determinado que la expresión vegetativa en regiones húmedas presenta una correlación positiva con la temperatura (Ferrer *et al.*, 2011), será determinante el empleo de portainjertos restrictivos que permitan optimizar el equilibrio entre la producción y la vegetación. Por otro lado, en el sur de Uruguay se observó un comportamiento diferencial en la maduración de distintos clones de Tannat (Disegna *et al.*, 2017). Considerando que en un futuro próximo la región Mar y Sierras alcanzaría un IH similar al del sur de Uruguay, sería conveniente elegir clones cuyas bayas maduren precozmente de manera equilibrada, teniendo en cuenta las diferentes dimensiones de la madurez: tecnológica, fenólica y aromática (van Leeuwen *et al.*, 2022).

La variabilidad interanual aún puede incrementarse en un contexto de cambio climático y a su vez hay variaciones en el relieve de la región Mar y Sierras que determinan que los viñedos se encuentren a diferentes alturas y presenten distintas pendientes y exposiciones. En el sistema serrano de Tandilia se pueden encontrar lotes con aptitud agrícola a 200-300 m s.n.m., sobre todo en los alrededores de Barker (partido de Benito Juárez). En términos generales, existe una tendencia a la disminución de la temperatura con la altitud. Los

viñedos de altura, como algunos viñedos del oeste y norte de la Argentina, están expuestos a climas más fríos que los que se encuentran a menor altitud (Catania *et al.*, 2007). La mayor amplitud térmica diaria y el incremento de radiación UV-B con la altura promueven la síntesis de compuestos fenólicos en la piel de las bayas. Sin embargo, en viñedos situados a menor altitud otros factores suelen confundir y/o enmascarar el efecto de la altura (Mansour *et al.*, 2022). Así, por ejemplo, en el área de Saint-Emilion (región vitivinícola de Burdeos, Francia), que presenta un relieve en el que dominan las colinas y mesetas bajas (altura máxima: 127 m s.n.m.), se determinó que la temperatura se incrementa con la pendiente y con las exposiciones sur (H.N.) y oeste, habiéndose observado que el efecto de la altura es prácticamente irrelevante en laderas con pendientes empinadas (de Rességuier *et al.*, 2020). Si se establece un paralelismo con dicha región, el área serrana de Mar y Sierras presentaría una variación importante de la temperatura, con mayores valores en las laderas expuestas al norte y oeste, en los casos de pendientes pronunciadas.

Por otro lado, debe considerarse que en regiones húmedas las precipitaciones durante el período de maduración de las bayas pueden afectar negativamente la calidad de las uvas e incluso generar un ambiente propicio al desarrollo de podredumbres si están acompañadas por temperaturas favorables. En el contexto de la región Mar y Sierras, no hay evidencias que demuestren un incremento en las precipitaciones durante la maduración de las variedades de maduración precoz e intermedia (Figura 3). Solo para la localidad de Mar del Plata se espera, para la segunda decena de abril, un incremento en las precipitaciones ($p=0,06$). Esta condición afectaría a las variedades de maduración tardía, como Bonarda (de Borbón *et al.*, 2008; González *et al.*, 2009) y limitaría la vendimia a la primera semana de abril.

En Argentina, la variedad Bonarda constituye la segunda variedad tinta cultivada en términos de superficie, después de Malbec (INV, 2022). Tradicionalmente empleada para la elaboración de vinos de mesa por sus altos rendimientos por hectárea y su sobresaliente aporte de color; últimamente ha sido revalorizada, presentándose como una variedad con potencial para la elaboración de vinos de alta calidad (INV, 2022). En la región Mar y Sierras, Godoy y Gancedo Desgens (2022) determinaron para la serie histórica 2000-2020 que las temperaturas favorables a la maduración azucarina disminuyeron progresivamente a partir de la segunda

quincena de marzo, conduciendo a una lenta maduración en variedades de maduración tardía. Esta situación podría modificarse a futuro como resultado del cambio climático y, consecuentemente, las condiciones ambientales determinarían una aceleración de la maduración y adelanto de la vendimia. Sin embargo, en el corto plazo,

bajo el escenario considerado se alcanzaría una suma térmica (Figura 1) sustancialmente menor a la que se ha obtenido para los departamentos del este mendocino - IH \approx 2800 - (González *et al.*, 2009), subregión en la que Bonarda logra su plena adaptación (de Borbón *et al.*, 2008).

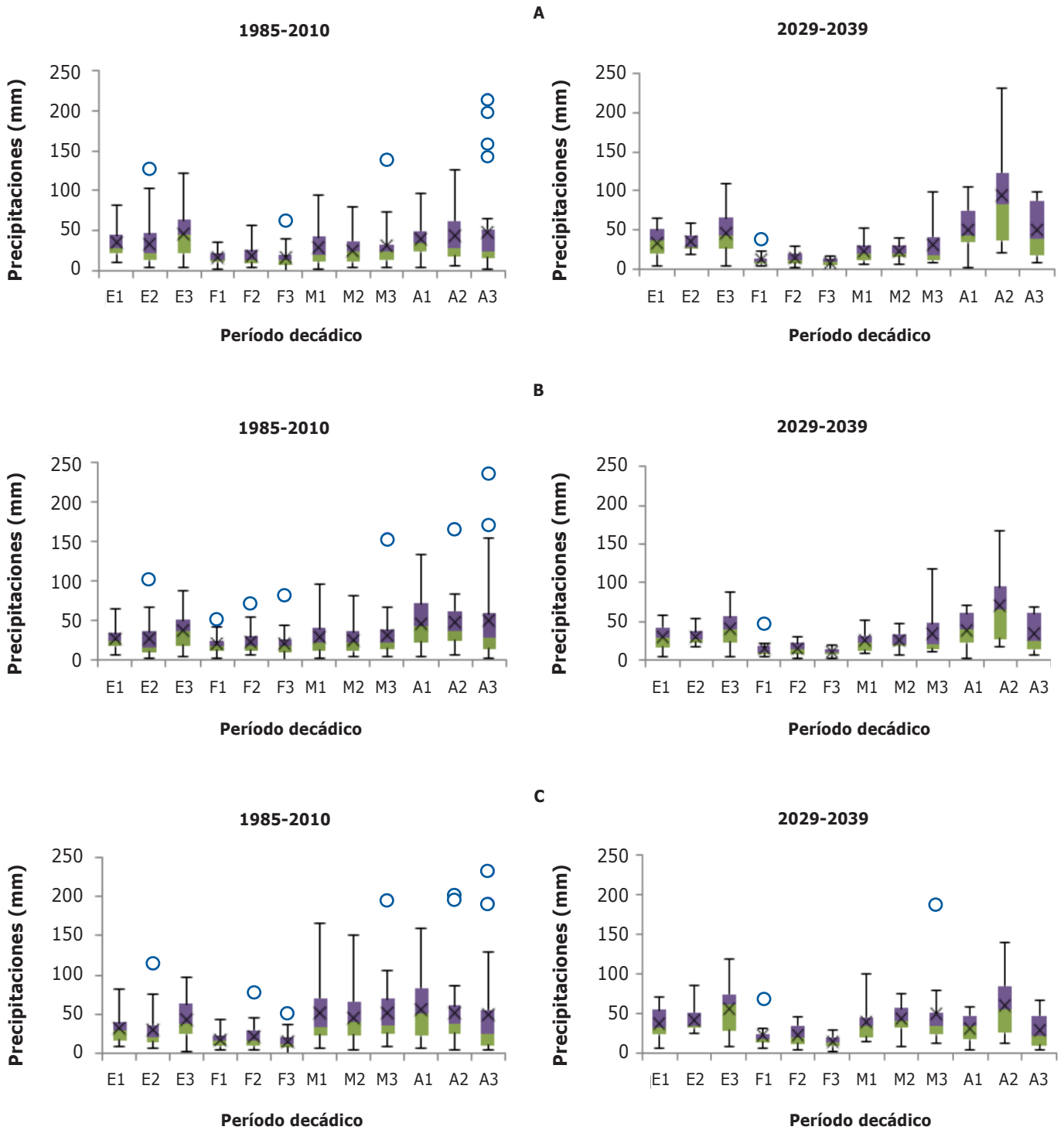


Figura 3. Diagramas de caja de precipitación acumulada decádica correspondiente a la serie histórica (1985-2010) y futura (2029-2039) para tres localidades de la región Mar y Sierras: (A) Mar del Plata, (B) Balcarce, (C) Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina. E1, E2 y E3 corresponden a la primera, segunda y tercera decena de enero.

CONCLUSIONES

En la región Mar y Sierras, las previsiones de cambio climático para un escenario moderado de emisión en el corto plazo indican que las variedades tintas de uva como Merlot y Cabernet Franc, que requieren valores de FN relativamente bajos para lograr una madurez equilibrada de las bayas, no lograrían satisfacer dicho requerimiento, comprometiendo la tipicidad varietal del vino resultante de su procesamiento. En el caso de la variedad Tannat, las variaciones térmicas pronosticadas en un contexto de cambio climático permitirían cumplir con sus requerimientos de tiempo térmico (IH) en el corto

plazo (2029-2039) y un mayor valor de FN permitiría, de todos modos, alcanzar intensidad de color, dado el contenido polifenólico elevado típico de la variedad. Los cambios en el régimen de precipitaciones podrían afectar a las variedades de maduración tardía, como Bonarda, en viñedos del área costera.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al CIMA/CONICET-UBA por la provisión de los datos climáticos de la 3ra. Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrizabalaga-Arriazu, M., Gomès, E., Morales, F., Irigoyen, J. J., Pascual, I. y Hilbert, G. (2020). High temperature and elevated carbon dioxide modify berry composition of different clones of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Tempranillo. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.603687>.
- Ashton, R. H. (2016). The value of expert opinion in the pricing of Bordeaux wine futures. *Journal of Wine Economics*, 11(2), 261-288. <https://doi.org/10.1017/jwe.2016.6>
- Ballester, J., Dacremont, C., Le Fur, C. y Etiévant, Y. (2005). The role of olfaction in the elaboration and use of the Chardonnay wine concept. *Food Quality and Preference*, 16, 351-359. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.06.001>
- Bindi, M., Fibbi, L., Gozzini, B., Orlandini, S. y Miglietta, F. (1996). Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. *Clim. Res.*, 7, 213-224.
- Boido, E., García-Marino, M., Dellacassa, E., Carrau, F., Rivas-Gonzalo, J. C. y Escribano-Bailón, M. T. (2011). Characterisation and evolution of grape polyphenol profiles of *Vitis vinifera* L. cv. Tannat during ripening and vinification. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17, 383-393.
- Cabré, M. F. y Núñez, M. (2020). Impacts of climate change on viticulture in Argentina. *Regional Environmental Change*, 20, 12. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01607-8>
- Cabré, M. F., Quénol, H. y Núñez, M. (2016). Regional climate change scenarios applied to viticultural zoning in Mendoza, Argentina. *Int J Biometeorol*, 60, 1325-1340.
- Catania, C. D., Avagnina de del Monte, S., Uliarte, E. M., F. del Monte, R. y Tonietto, J. (2007). El clima vitícola de las regiones productoras de uvas para vinos de Argentina. En: Tonietto, J. y Sotés, V. (Ed.). *Caracterização climática de regiões vitivinícolas ibero-americanas* (pp. 9-55). Embrapa Uva e Vinho.
- Cavagnaro, M., Canziani, P., Portela, J. y Robledo, W. (2014). Evolución de tres índices bioclimáticos para la vid en San Martín y Luján de Cuyo (Mendoza, Argentina). 37th World Congress of Vine and Wine and 12th General Assembly of the OIV, 05007.
- Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera-CIMA. (2021). Base de datos climáticos. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. <http://3cn.cima.fcen.uba.ar/>
- De Borbón, L., Mercado, L. y López, M. (2008). Influencia del clima en bayas y mostos de las variedades Bonarda y Syrah. Mendoza (Argentina). *Rev. FCA UNCuyo*, 40(2), 83-89.
- Deis, L., de Rosas, M. I., Malovini, E., Cavagnaro, M. y Cavagnaro, J. B. (2015). Impacto del cambio climático en Mendoza. Variación climática en los últimos 50 años. Mirada desde la fisiología de la vid. *Rev. FCA UNCuyo*, 47(1), 67-92.
- De Rosas, I., Deis, L., Baldo, Y., Cavagnaro, J. B. y Cavagnaro, P. F. (2022). High temperature alters anthocyanin concentration and composition in grape berries of Malbec, Merlot, and Pinot Noir in a cultivar-dependent manner. *Plants*, 11, 926. <https://doi.org/10.3390/plants11070926>.
- De Rességuier, L., Séverine, M., Le Roux, R., Petitjean, T., Quénol, H. y van Leeuwen, C. (2020). Temperature variability at local scale in the Bordeaux area. Relations with environmental factors and impact on vine phenology. *Frontiers in Plant Science*, 11, 515.
- Disegna, E., Ferrari, V. y Coniberti, A. (2017). Estudio comparativo de clones comerciales de Tannat (*Vitis vinifera* L.) en el sur del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 21(1), 33-42.
- Droulia, F. y Charalampopoulos, I. (2022). A review on the observed climate change in Europe and its impacts on viticulture. *Atmosphere*, 13, 837. <https://doi.org/10.3390/atmos13050837>.
- Duchêne, E., Huard, F., Dumas, V., Schneider, C. y Merdinoglu, D. (2010). The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate Research*, 41, 193-204.
- Ferrer, M., González-Neves, G., Echeverría, G., Camussi, G., Avondet, R., Salvarrey, J., Favre, G. y Fourment, M. (2011). Comportamiento agronómico y potencial enológico de la uva Tannat en tres regiones climáticas uruguayas. *Agrociencia*, 15(1), 37-49.
- Fourment, M., Ferrer, M. y Quénol, H. (2013). *Vitis vinifera* L. cv. Tannat: respuesta a la variabilidad climática. *Agrociencia Uruguay*, 17, 2, 45-54.

- Godoy, C. y Gancedo Desgens, E. (2022). Aptitud vitícola del sudeste bonaerense en base a índices bioclimáticos. *Agronomía & Ambiente*, 42(2), 7-12.
- González, G., Senatra, L., Mercado, L., Nazrala, J., Albornoz, L., Poetta, S., Beltrán, M., Hidalgo, A., Alberto, M., Navarro, A., López, M., de Borbón, L. y Gez, M. I. (2009). Caracterización de uvas para vinificar en diferentes regiones de Mendoza (Argentina). *Rev. FCA UNCuyo*, 41, 165-175.
- González-Neves, G., Charamelo, D., Balado, J., Barreiro, I., Bochicchio, R., Gatto, G., Gil, G., Tessore, A., Carbonneau, A. y Moutounet, M. (2004). Phenolic potential of Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. *Analytica Chimica Acta*, 513(1), 191-196.
- González-Neves, G., Gil, G., Barreiro, L., Ferrer, M. y Franco, J. (2006). Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitis vinifera* cultivadas en Uruguay. *Agrociencia*, 2, 1-14.
- Instituto Nacional de Vitivinicultura-INV. (2022). Informe anual de superficie 2021. (Base de datos congelada al 31/12/21). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/informe_anual_de_superficie_2021_1.pdf
- Instituto Nacional de Vitivinicultura-INV. (2022). Informe de variedades: Bonarda. Instituto Nacional de Vitivinicultura. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/bonarda_2021.pdf
- Instituto Nacional de Vitivinicultura-INV. (2023). Informe anual de superficie 2022. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/10/informe_anual_de_superficie_2022.pdf
- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R. y Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73, 319-343.
- Mansour, G., Ghanem, Ch., Mercenaro, L., Nassif, N., Hassoun, G. y Del Caro, A. (2022). Effects of altitude on the chemical composition of grapes and wine: a review. *OENO One*, 56(1), 227-239.
- Parker, A. K., García de Cortázar-Atauri, I., Gény, L., Spring, J-L., Destrac, A., Schultz, H., Molitor, D., Lacombe, T., Graça, A., Monamy, C., Stoll, M., Storchi, P., Trought, M. C., Hofmann, R. W. y 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, 107902. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107902>.
- Rössler, C. E. y Barbero, N. E. (2008). Análisis del cambio climático en cuatro localidades argentinas: una mirada sobre la viticultura. XII Reunión Argentina de Agrometeorología, 8 al 10 de octubre de 2008. San Salvador de Jujuy, Argentina.
- Salazar Parra, C., Aguirreolea, J., Sánchez-Díaz, M., Irigoyen, J. J. y Morales, F. (2010). Effects of climate change scenarios on Tempranillo grapevine (*Vitis vinifera* L.) ripening: response to a combination of elevated CO₂ and temperature, and moderate drought. *Plant Soil*, 337, 179-191.
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L-T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M. y Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for european viticulture. *Applied Sciences*, 10, 3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2014). Tercera comunicación nacional sobre cambio climático. Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, Buenos Aires, Argentina. http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3cn_informe.php.
- Sweetman, C., Sadras, V. O., Hancock, R. D., Soole, K. L. y 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.
- Tonietto, J. y Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agric. Fort. Meteo.*, 124, 81-97.
- van Leeuwen, C., Barbe, J-C., Darriet, P., Destrac-Irvine, A., Gowdy, M., Lytra, G., Marchal, A., Marchand, S., Plantevin, M., Poitou, X., Pons, A. y C. Thibon, C. (2022). Aromatic maturity is a cornerstone of terroir expression in red wine. *OENO One*, 52, 2. <https://oeno-one.eu/article/5441>
- Yan, Y., Song, Ch., Falginella, L. y Castellarin, S. D. (2020). Day temperature has a stronger effect than night temperature on anthocyanin and flavonol accumulation in 'Merlot' (*Vitis vinifera* L.) grapes during ripening. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1095. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7396706/pdf/fpls-11-01095.pdf>