

# **Impacto del cambio climático en Mendoza. Variación climática en los últimos 50 años. Mirada desde la fisiología de la vid**

## **Climate change impact in Mendoza. Climate variation on the last 50 years. A view to grapevine physiology**

Leonor Deis<sup>1</sup>, María Inés de Rosas<sup>1,2</sup>, Emiliano Malovini<sup>1,2</sup>, Martín Cavagnaro<sup>3</sup>, Juan Bruno Cavagnaro<sup>2</sup>

Originales: *Recepción: 17/09/2014 - Aceptación: 16/04/2015*

### **RESUMEN**

El IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) ha pronosticado cambios principalmente en las temperaturas, precipitaciones y eventos extremos. Ya se han detectado durante el siglo XX aumentos en la temperatura de la superficie del globo terrestre de  $0,6^{\circ}\text{C}\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . La fisiología, productividad y ciclo fenológico de las plantas depende de las condiciones climáticas. En este trabajo, se analizaron series meteorológicas de 50 años, en tres oasis productivos de Mendoza, Argentina, a través de índices climáticos y ecológicos. Se compararon estadísticamente estos índices, en dos décadas de la serie (una inicial y otra final) y se evaluó su variación en el tiempo mediante regresión lineal. El análisis comparativo de las dos décadas mostró diferentes cambios según la zona en estudio. En la zona Este mayor número de índices que podrían afectar la viticultura sufrieron variación. En la zona Norte y Sur, el número de índices climáticos y ecológicos que presentaron cambios fueron menores que en la zona Este. Conocer los cambios climáticos ocurridos a nivel local, su magnitud en los últimos 50 años y su tendencia permitirá evaluar sus posibles impactos en la fisiología vitícola, modificación de la fenología, acumulación de azúcares y compuestos fenólicos como también elaborar nuevos estudios y estrategias para mitigar los efectos negativos.

### **Palabras claves**

cambio climático • temperaturas • precipitaciones • vid

- 
- 1 Cátedra de Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Almirante Brown 500. C. P. M5528AHB. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. ldeis@fca.uncu.edu.ar.
  - 2 Instituto de Biología Agrícola Mendoza (IBAM-CONICET). Almirante Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina.
  - 3 Dirección de Contingencias Climáticas. Gobierno de Mendoza.

## ABSTRACT

The IPCC has predicted changes mainly in temperature, rainfall and extreme events. Rises in earth surface temperature of  $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$  has been already detected during 20th century. Plant physiology, productivity, and phenological cycle depend on climatic conditions. In this work meteorological series comprising 50 years of three productive oasis (Mendoza, Argentine) were analyzed, through climatic and ecological indexes. Were compared statistically in two decades of the whole series (a beginning one and a final one), and their variation over time was analyzed by lineal regression. Comparative analysis of the two decades showed different changes according the studied zone. The East zone showed the highest number of indexes which might affect viticulture suffering variation. On the North and South zone, the number of indexes showing variation had been lower compared to the East zone. To know the climatic changes that occurred at local level, their magnitude on the last 50 years and their tendency will allow to evaluate their possible impacts on vine physiology, phenology modification, sugar accumulation and phenolic compounds as well as to elaborate new assays and strategies in order to mitigate their negative effects.

### Keywords

climatic change • temperatures • rainfall • vine

## INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental sobre cambio climático en su último informe y actualización (IPCC 2007 y 2013) informó que a nivel global, durante el siglo XX, la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado aproximadamente  $0,6^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$  (20, 21), y se ha producido principalmente en dos períodos, entre 1910-1945 y entre 1976-2000. A menor escala, el cambio ha sido diferente. En Europa los mayores cambios han ocurrido a fines del siglo pasado (24). El aumento de la temperatura ha estado acompañado de variaciones en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones. Asimismo, se ha proyectado que este calentamiento estará acompañado por eventos extremos como olas de calor o frío y lluvias torrenciales. En la región de Cuyo, los aumentos de temperatura reportados han alterado el hidrograma de los ríos andinos,

adelantando el descongelamiento de la nieve, incrementando el caudal de los ríos en primavera con la consecuente disminución en verano (3, 28, 29).

El principal cultivo frutícola de la región es la vid. La relación entre el clima y la viticultura a nivel mundial ha sido ampliamente estudiada y se han desarrollado numerosos índices agroclimáticos basados en la temperatura y precipitación (1, 18, 19, 39). Estos índices tienen su base en la fisiología y consideran en general el período de crecimiento. Sin embargo, dependiendo del momento fenológico o proceso fisiológico que se desea asociar a las condiciones climáticas, deben calcularse otros índices teniendo en cuenta otros períodos.

Jones, en 1997, entendió que el impacto potencial del cambio climático podría afectar la viticultura y la producción de

vinos afectando los procesos fenológicos y fisiológicos de las plantas (2). Ya se ha constatado el impacto ecológico del cambio climático en la fenología de las plantas en el hemisferio Norte y en Australia (11, 13, 14, 26, 35, 39, 41, 45). En vid, se ha observado que las etapas fenológicas se aceleran con el aumento de la temperatura ambiental y se modifica el inicio y la velocidad de la acumulación de azúcar en la baya (38).

Se ha estudiado el efecto de la temperatura en la fotosíntesis neta, respiración, foto-respiración y conductancia estomática en diferentes variedades (46). Dichos autores han mostrado actividad fotosintética a partir de 0°C, con una máxima asimilación entre 28° y 32°C. Entre 15° y 25°C la fotosíntesis se duplicó, a 35°C llegó a valores levemente menores que a 15°C y a 38°C fue mínima ( $2 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{S}^{-1}$ ).

Mientras que la respiración incrementó con la temperatura del follaje, a 25°C fue el doble que a 20°C y ésta duplica la respiración de 15°C. La fotorrespiración también es fuertemente dependiente de la temperatura, a 20°C es de aproximadamente  $2 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{S}^{-1}$ ; a 25°C es  $3 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{S}^{-1}$  y se duplica este valor a 35°C. Es por ello que las temperaturas mínima y máxima determinan la asimilación neta de carbono (46). Todas estas ganancias se ven reflejadas en el crecimiento vegetativo y acumulación de azúcares en bayas o almidón en órganos de reserva. Además, períodos de altas temperaturas (próximas al óptimo de fotosíntesis) en poscosecha pueden extender el período entre cosecha y caída de hojas incrementando así las reservas de la planta, principalmente en raíces (41).

Los compuestos polifenólicos son los responsables del color de los vinos tintos y de sus propiedades nutraceuticas.

El contenido final de estos compuestos depende de numerosos factores de cultivo (7, 8, 9, 16, 34, 36, 37) y de las condiciones climáticas (17, 23, 35). Diversos autores han estudiado el efecto de la temperatura durante el período de maduración y los resultados no han sido concordantes (4, 17). Castellarini *et al.* (2007) encontraron que temperaturas diurnas superiores a los 30°C producen mayores contenidos de antocianos que a temperaturas menores.

Algunos autores encontraron que temperaturas superiores a 35°C combinados con altas intensidades de luz pueden producir una baja concentración de antocianos (17, 36) y su consecuente concentración en vinos. Otros autores dan gran importancia a la relación entre temperaturas nocturnas en el período de maduración y contenido de compuestos fenólicos (31, 32).

Las disminuciones en los rendimientos se producen por la falta de agua, heladas, plagas y enfermedades principalmente. Las heladas invernales muy intensas y tardías producen desde disminuciones en los rendimientos en el presente año hasta muerte de brazos o plantas.

Existen numerosos índices para la caracterización climática de una región como: Temperatura máxima media anual (TMax), Temperatura mínima media anual (Tmin), Temperatura media anual (Tmed) y precipitaciones (PP).

El número de días que hubo precipitaciones, permite caracterizar el tipo de lluvia.

La mayor y menor temperatura registrada anualmente (Máxima y mínima Temperatura), permite detectar eventos extremos; como también en número de días con temperaturas mínimas mayores a 20°C.

Los índices ecológicos o específicos se utilizaron para estudiar la relación con la

fenología de la planta (sumatoria  $T_{min}$  durante el receso I y II, Sumatoria  $T_{media}$  previo a brotación, sumatoria de  $T_{media}$  menos  $10^{\circ}C$ ) (44), con la producción de fotoasimilados, llenado de racimos, producción de metabolitos secundarios e hidratos de carbono de reserva ( $N^{\circ}$  de días con  $T$  Máximas superiores a  $35^{\circ}$  y  $38^{\circ}C$ , con  $T$  mínima superior a  $15^{\circ}$ ,  $17^{\circ}$  y  $20^{\circ}C$  y Temperaturas máximas, medias y mínimas en cada período de interés).

La sumatoria de temperaturas medias diarias menos  $10^{\circ}C$ , conocido como grados días, hace referencia a las temperaturas fisiológicamente activas influyendo directamente en la fenología y la producción de hidratos de carbono.

La sumatoria de temperaturas mínimas durante el receso vegetativo afectaría la fecha probable a brotación. Para considerar eventos extremos se tomaron como referencia dos altas temperaturas ( $35^{\circ}$  y  $38^{\circ}C$ ), las cuales afectan drásticamente la fotosíntesis y la producción de polifenoles.

El número de días con temperaturas superiores a  $15^{\circ}$ ,  $17^{\circ}$  y  $20^{\circ}C$  se tomó para estimar cómo sería el nivel de fotosíntesis neta y cómo se afectaría la síntesis de polifenoles basados en los estudios de Zufferey (2000). Esto último es de gran importancia ya que noches con temperaturas cálidas, reducen la cantidad de estos compuestos en las uvas.

El número de días con temperaturas inferiores a  $0^{\circ}C$  anuales y por períodos, permite cuantificar olas de frío y la posibilidad de daños por heladas en primavera y otoño.

En este estudio se evaluó el impacto del cambio climático en tres zonas de la Provincia de Mendoza: Este (San Martín), Norte (Chacras de Coria) y Sur (San Rafael).

## Objetivo

Determinar si se han registrado cambios climáticos en los últimos 50 años en los diferentes oasis, determinar su magnitud e hipotetizar posibles efectos en la viticultura de la región.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Datos meteorológicos

En este estudio se analizaron los datos meteorológicos de los tres principales zonas de Mendoza (tomando la estación más próxima a la mayor zona productiva), estación San Martín ( $33,05^{\circ}$  Lat sur,  $68,3^{\circ}$  Long oeste, 653 m s. n. m.); estación Chacras de Coria ( $32,59^{\circ}$  Lat sur,  $68,5^{\circ}$  Long oeste, 921 m s. n. m.); estación San Rafael ( $34,35^{\circ}$  Lat sur,  $68,2^{\circ}$  Long oeste y 748 m s. n. m.). Estos datos fueron aportados por el Servicio Meteorológico Nacional Argentino.

### Variables a estudiar

#### *Índices climáticos*

En la tabla 1 (pág. 71) se muestran los índices climáticos elegidos que caracterizan el clima de una región: Temperatura media anual ( $T_{med}$ ), Temperatura Máxima media anual ( $T_{Max}$ ), Temperatura mínima media anual ( $T_{min}$ ), mayor Temperatura registrada anual ( $Max T$ ), menor temperatura registrada anual ( $Min T$ ), precipitación anual en mm ( $PP$  mm) y  $N^{\circ}$  de días en los cuales precipitó ( $N^{\circ} PP$ ).

A fin de conocer si los cambios en las temperaturas fueron mayores a las variaciones interanuales se calculó la desviación estándar ( $ds$ ) de toda la serie climática para las  $T_{Max}$ ,  $T_{min}$  y  $T_{med}$ ;

y se determinó el número de días cuando las TMax, Tmed, y Tmin, fueron mayores a la media de cada variable más una ds.

*Índices ecológicos*

Se elaboraron índices para evaluar las condiciones climáticas del ambiente pasado y el presente en relación con la fisiología y fenología de la vid (tabla 2).

La sumatoria de temperaturas medias diarias menos 10°C ( $\sum T^{\circ}-10$ ) permite

conocer los grados días con temperaturas fisiológicamente activas influyendo directamente en la fenología y crecimiento de la planta. La sumatoria de temperaturas mínimas durante el receso vegetativo tomando diferentes períodos ( $\sum T^{\circ}\text{min}$  receso I,  $\sum T^{\circ}\text{min}$  receso II,  $\sum T^{\circ}\text{min}$  previo a brotación) afectaría la fecha probable de brotación. Se calculó N° de días con TMax>35° y 38°C, mínimas superiores a 15°, 17° y 20°C y  $\sum$  Amplitud Térmica.

**Tabla 1.** Índices climáticos.

**Table 1.** Climatic indexes.

Índice	Descripción
Tmax	T máxima media anual
Tmin	T mínima media anual
Tmed	T media anual
Max T	Mayor T registrada en el año
Min T	Menor T registrada en el año
PP mm	Precipitación en mm anual
N° PP	N° de días por año en los cuales ocurrió precipitación
Tmin>Tmin+1ds	N° de días que la T min fue superior en una desviación estándar de la min media
TMax>TMax+1ds	N° de días que la T max es superior en una desviación estándar de la max media
Tmed>Tmed+1ds	N° de días que la T med es superior en una desviación estándar de la media
N° Tmin>20°C	N° de días con T min diaria superior a 20°C

**Tabla 2.** Índices ecológicos de interés vitícola para evaluar el impacto del cambio climático.

**Table 2.** Ecological Indexes of grape interest used to evaluate the climate change impact.

Índice ecológico	Descripción
$\sum T^{\circ}-10$	Sumatoria de T media diaria menos 10°C desde 01-09 al 31-03
$\sum T^{\circ}\text{m}$ receso I	Sumatoria T min durante el receso vegetativo (01-04 al 31-08)
$\sum T^{\circ}\text{m}$ receso II	Sumatoria T min durante el receso vegetativo (01-04 al 30-09)
$\sum T^{\circ}\text{min}$ previo a brotación	Sumatoria T min previo a la brotación (01-08 al 30-09)
N° TMax>35° y 38°	N° de días con T max diaria superior a 35° y 38°C
$\sum$ Amplitud Térmica	Sumatoria de la amplitud térmica
N° T°min> 15°, 17° y 20°C	N° de días con la T min diaria superior a 15°, 17° y 20°C
N° T°min < -3°, -2,5° y -1°C	N° de días con la T min diaria < a -3°, -2,5° y -1°C

Además, el número de días con temperaturas inferiores a 0°C anuales y por periodos (N° de días con  $T_{min} < a -3, -2,5^{\circ}$  y  $-1^{\circ}C$ ) con el objeto de evaluar la severidad de las heladas.

### **Análisis de datos meteorológicos**

#### *ANAVA*

Se realizó Análisis de la Varianza entre dos décadas, una al inicio de la serie y otra al final. Para la estación San Martín se tomó como Década 1 el período comprendido entre el 1 de enero de 1959 y el 31 de diciembre de 1970 (los años 1962 y 1963 no estaban completos) y la década final del 01 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2010.

Para Chacras de Coria y San Rafael se tomó como Década 1 el período desde 1 de enero de 1959 al 31 de diciembre de 1968 y la década final del 01 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2010.

El análisis de la varianza se realizó a todas las variables detalladas en las tablas 1 y 2 (pág. 71).

#### *Regresión lineal*

Con la serie de datos completas para todos los índices detallados en la tabla 1 (pág. 71) se realizó análisis de regresión lineal en las tres estaciones en estudio.

El objetivo de este análisis fue evaluar si los cambios ocurridos se ajustaban a una recta. El valor de la pendiente indica la magnitud de cambio anual ocurrido y el signo el tipo de cambio (incremento o disminución).

Se utilizó el software INFOSTAT (12).

## **RESULTADOS**

### **San Martín**

#### *Análisis de la varianza*

El análisis de los índices climáticos, mostró que la  $T_{med}$  en la estación San Martín se incrementó 1,08°C en los últimos 50 años. La  $T_{min}$  anual ( $T_{min}$ ), menor temperatura ( $Min T$ ) y la mayor temperatura ( $Max T$ ) registrada anualmente aumentaron significativamente; no así la  $T_{Max}$  anual (figura 1, pág. 73).

El N° de días con  $T_{Max} > T_{Max} +1ds$  incrementó un 25%, el N° de días con  $T_{min} > T_{min} +1ds$  un 101% y la  $T_{med} > T_{med} +1ds$  un 88%.

En cuanto a los índices que reflejan un calentamiento de las noches, ligados a olas de calor, se constató que el número de días con  $T_{min} > a 15^{\circ}$  aumentó un 46% en la década final, y también aumentaron los días con  $T_{min} > a 17^{\circ}C$  (91%) y  $> a 20^{\circ}C$  (28%).

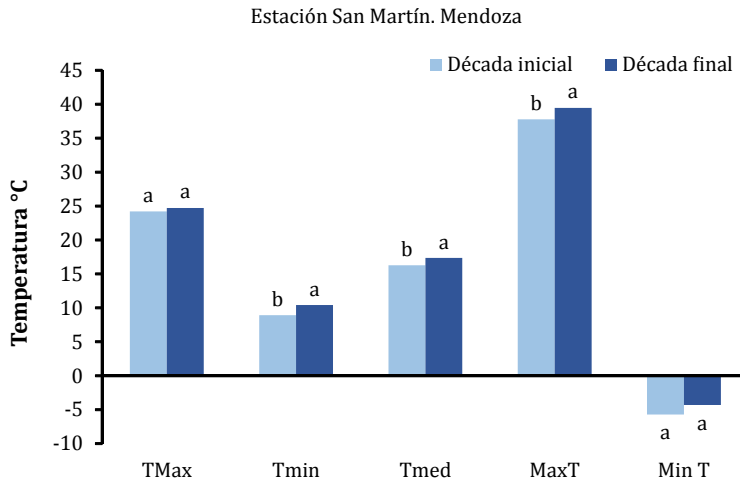
Además, en la década final, disminuyeron significativamente el N° de días con  $T_{min} < -3^{\circ}, -2,5^{\circ}$  y  $-1^{\circ}C$ .

El N° de días con  $T_{Max} > 35^{\circ}C$  fue superior en la década final pero no así con  $T_{Max} > 38^{\circ}C$  (figura 2, pág. 73).

N° PP disminuyó más de un 26% y PP mm aumentó un 37% (figura 3, pág. 74).

En resumen, los datos de la estación meteorológica San Martín, evaluados en forma anual, indican un claro aumento de las temperaturas máximas, medias y mínimas con una disminución de los días con lluvias pero con aumento de la PP anual, es decir, menos eventos pero de mayor cantidad cada uno de ellos.

Cuando se evaluaron estos parámetros en forma mensual (tabla 3, pág. 74) se observó que el N° de días con  $T_{Max} > T_{Max} +1ds$  solo incrementó en los meses de enero y marzo en la década final respecto de la década inicial.

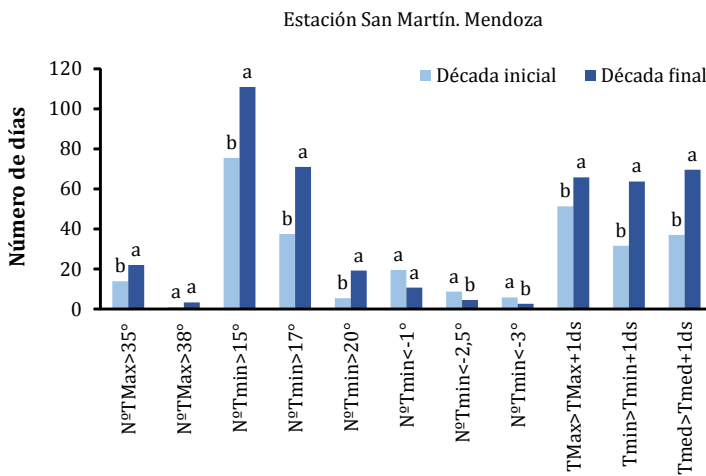


Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas  $\alpha=0,05$ .

Different letters mean significant statistical differences  $\alpha=0.05$ .

**Figura 1.** Estación San Martín, Mendoza. Comparación de índices climáticos en dos décadas.

**Figure 1.** San Martin Station, Mendoza. Climate indexes comparison in two decades.

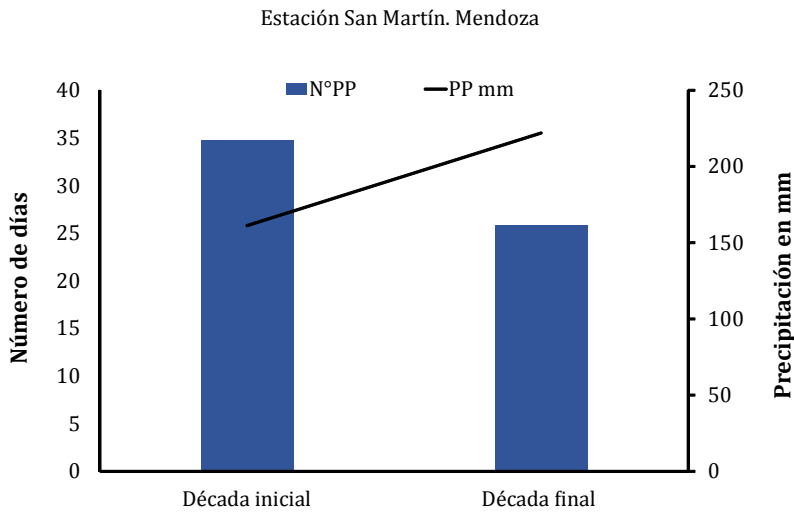


Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas  $\alpha=0,05$ .

Different letters mean significant statistical differences  $\alpha=0.05$ .

**Figura 2.** Estación San Martín, Mendoza. Comparación de índices climáticos y ecológicos en dos décadas.

**Figure 2.** San Martin Station, Mendoza. Climatic and ecological indexes comparison in two decades.



Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas  $\alpha=0,05$ .

Different letters mean significant statistical differences  $\alpha=0.05$ .

**Figura 3.** Estación San Martín, Mendoza. Precipitación en mm y N° de días que hubo precipitación.

**Figure 3.** San Martin Station. Rainfall in mm and N° of raining days.

**Tabla 3.** Estación Meteorológica San Martín. ANAVA de las temperaturas Máxima, mínima y media+1ds analizados por mes.

**Table 3.** ANOVA of climatic indexes referred to temperature, by month, for each meteorological station.

Mes		Década inicial	Década final
<b>TMax&gt;TMax+1ds</b>	Enero	3,7 a	6,9 b
	Marzo	3,1 a	7,2 b
<b>Tmin&gt;Tmin +1 ds</b>	Enero	0,0 a	1,3 b
	Febrero	2,2 a	6,4 b
	Marzo	0,2 a	2,1 b
	Abril	3,1 a	7,2 b
	Septiembre	3,5 a	7,5 b
	Octubre	2,9 a	5,9 b
	Noviembre	2,7 a	7,8 b
	Diciembre	2,1 a	5,5 b
	Enero	2,3 a	8,3 b
	Febrero	1,9 a	5,3 b
	Marzo	2,2 a	7,8 b
	Septiembre	4,4 a	7,7 b
	Noviembre	1,6 a	5,3 b
	Diciembre	0,4 a	2,4 b

Letras diferentes representan diferencias significativas para un  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistical differences for  $\alpha=0.05$ .



En la tabla 3, pág. 74; solo se muestran los meses con valores estadísticamente diferentes. En todos los meses del ciclo de crecimiento de la vid (setiembre a abril) las Tmin en la década final fueron superiores a las Tmin+1ds, no así durante el receso (invierno). Similar situación se presentó para la Tmed>Tmed+1ds.

Los índices ecológicos mostraron, que la  $\Sigma T^{\circ} -10$  fue superior en la década final respecto de la inicial. La  $\Sigma$  Amplitud Térmica no varió significativamente entre las décadas, debido a que tanto TMax como Tmin aumentaron en paralelo.

La Tmin previa a brotación presentó incrementos en la década final al igual que la sumatoria de Tmin receso I y II (tabla 4), lo cual puede afectar la brotación de algunas variedades.

Las Tmin, TMax y Tmed promedios del período de receso vegetativo no mostraron variaciones en las dos décadas estudiadas.

En el período comprendido entre brotación y pre-verno, las TMax y Tmed tampoco mostraron variaciones. Sin embargo, las Tmin sí se vieron incrementadas en la década final (figura 4, pág. 76).

Durante los meses de enero a marzo (post-verno-maduración) se encontraron aumentos significativos en los tres parámetros entre las dos décadas

(figura 4, pág. 76) lo cual indicaría un mayor efecto de los aspectos climáticos en el momento de maduración de las bayas que en las etapas de crecimiento vegetativo y crecimiento temprano de frutos.

*Análisis de regresión lineal*

El análisis de regresión lineal de los índices climáticos reveló que la TMax, Tmin, Tmed, Max T, Min T, PP mm, N° PP, N° de días con Tmin>Tmin+1ds y con Tmed>Tmed+1ds como también el N° de días con Tmin> a 20°C se ajustan al modelo (tabla 5, pág. 77).

De los índices ecológicos, la suma de la T°-10, N° de días con TMax >35°C y 38°C, N° de días con Tmin> a 15° y 17°C, N°Tmin<-1°, -2.5° y -3°C, y suma de la amplitud térmica presentaron un ajuste significativo a una recta (tabla 6, pág. 78).

El N° de días con TMax>TMax+1ds solo presentó un incremento lineal en el mes de marzo cuyos N° de días fue superior al 100% en la década final. El N° de días con Tmin>Tmin + 1ds presentó un incremento lineal en los meses de crecimiento vegetativo cuyas pendientes son de diferentes magnitudes, no así en mayo, junio ni julio. El N° de días con Tmed>Tmed+1ds se ajustó al modelo en enero, febrero, marzo, setiembre, noviembre y diciembre (tabla 5, pág. 77).

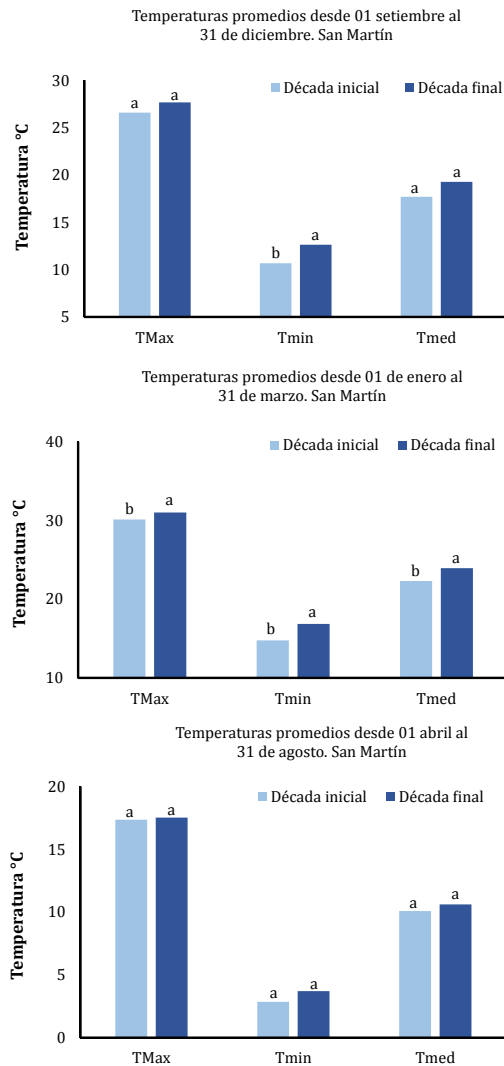
**Tabla 4.** Estación Meteorológica de San Martín. ANAVA de los índices ecológicos.

**Table 4.** Meteorological station of San Martín. ANOVA of ecological indexes.

Índices Ecológicos		
	Década inicial	Década final
$\Sigma T^{\circ} -10$	2242 a	2684 b
$\Sigma T^{\circ} m$ receso I	616 a	766 b
$\Sigma T^{\circ} m$ receso II	777 a	988 b
$\Sigma T^{\circ} min$ previo a brotación	250 a	337 b
$\Sigma$ Amplitud térmica	5428 a	5012 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas para un  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistical differences for  $\alpha = 0.05$ .



Letras diferentes representas diferencias estadísticas significativas,  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistically significant differences,  $\alpha=0.05$ .

**Figura 4.** Temperaturas promedio Máximas, mínimas y medias en tres períodos de la fisiología de la vid, de la estación Meteorológica de San Martín. Receso vegetativo desde el 01 de abril al 31 de agosto, brotación-enero desde el 1 de setiembre al 31 de diciembre y enero-cosecha desde el 1 de enero al 31 de marzo.

**Figure 4.** Maximum Temperatures average, minimum and average in three periods of the physiology of the vine, the Meteorological Station San Martín. Vegetative break from April 01 to August 31, sprouting, ripening from September 1 to December 31 and veraison-harvest from January 1 to March 31.

**Tabla 5.** Estación Meteorológica San Martín. Regresión lineal de los índices climáticos y ecológicos para un  $\alpha=0,05$ . En los casos de ser significativo se muestra la variación anual.

**Table 5.** Lineal regression for climatic indexes for  $\alpha=0.05$ . Slope value is shown for the cases with statistical differences. San Martin.

Índices climáticos y ecológicos		
	P value	Variación anual
TMax	0,0324	0,01
Tmin	0,0001	0,04
Tmed	0,0002	0,04
Max T	0,0027	0,03
Min T	0,0014	0,05
N° PP	0,0152	-0,17
PP mm	0,0072	2,02
$\Sigma T^{\circ}-10$	0,0001	9,02
N° TMax>35°	0,0199	0,12
N° de días con T Max>38°	0,063	0,04
N° Tmin>17°	0,00001	0,72
N° Tmin>15°	0,00001	0,83
N° Tmin>20°	0,0001	0,27
N° Tmin<-1°	0,003	-0,27
N° Tmin<-2,5°	0,013	-0,15
N° Tmin<-3°	0,065	-0,10
$\Sigma$ de amplitud térmica	0,0044	-10,94
TMax>TMax+1ds	0,1057	---
Tmed>Tmed+1ds	0,0001	0,64
Tmin>Tmin+1ds	0,0001	0,71

San Martín						
Mes	TMax >TMax+1ds		Tmin>Tmin+1ds		Tmed>Tmed+1ds	
	P value	Variación anual	P value	Variación anual	P value	Variación anual
Enero	0,0878	---	0,0004	0,03	0,0017	0,09
Febrero	0,079	---	0,0002	0,1	0,006	0,09
Marzo	0,003	0,09	0,0095	0,05	0,0001	0,13
Abril	0,3059	---	0,003	0,09	0,1045	---
Mayo	0,3046	---	0,0725	---	0,9574	---
Junio	0,743	---	0,2017	---	0,3277	---
Julio	0,4866	---	0,7498	---	0,7718	---
Agosto	0,2467	---	0,0111	0,08	0,052	---
Septiembre	0,7845	---	0,0015	0,09	0,0365	0,05
Octubre	0,759	---	0,0442	0,05	0,199	---
Noviembre	0,5187	---	0,0001	0,1	0,0011	0,07
Diciembre	0,181	---	0,0048	0,08	0,0179	0,04

**Tabla 6.** Estación Meteorológica San Martín. ANAVA de los índices ecológicos comparando dos momentos (década inicial vs década final).

**Table 6.** ANOVA of ecological indexes for each meteorological station on study comparing two moments (initial decade vs final decade).

		San Martín	
		Década inicial	Década final
Nº Tmin < -1°C	Marzo	0,1 a	0 a
	Abril	0 *	0
	Agosto	4,4 a	2,6 a
	Setiembre	0,9 a	0,3 a
	Octubre	0	0
Nº Tmin < -2,5°C	Marzo	0	0
	Abril	0	0
	Agosto	1,3 a	0,9 a
	Setiembre	0,5 b	0 a
	Octubre	0	0
Nº Tmin < -3°C	Marzo	0	0
	Abril	0	0
	Agosto	0,6 a	0,3 a
	Setiembre	0,3 a	0 a
	Octubre	0	0

\* cero representa ausencia de Tmin menores a dichas temperaturas.

\*cero represent days with Tmin lowers than the indicated ones.

Letras diferentes representan diferencias significativas para un  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistical differences for  $\alpha=0.05$ .

## Chacras de Coria

### ANAVA

Al evaluar los datos climáticos ocurridos en los últimos 50 años en Chacras de Coria, se encontraron aumentos significativos de 0,6°C en TMax y de 0,44°C en Tmin al comparar la primera y última década del período. Las mayores y menores Temperaturas registradas (MaxT y minT) no variaron entre los períodos comparados (figura 5, pág. 79).

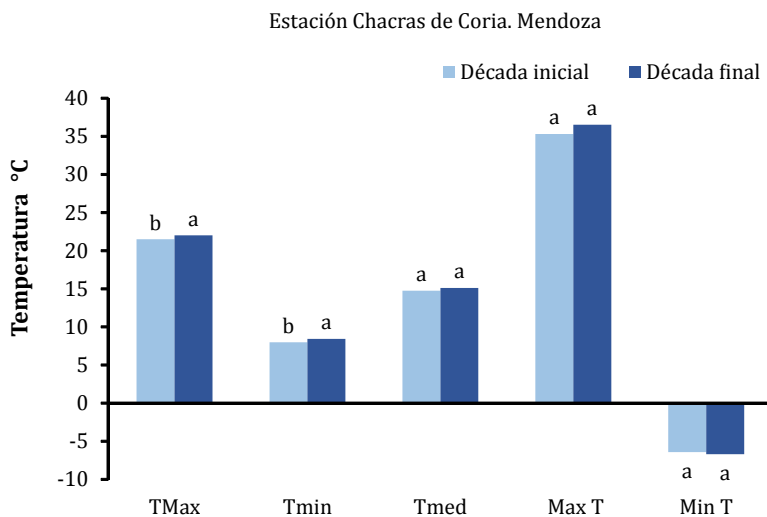
El Nº de días con Tmin > 20°C aumentó un 93% en la década final, es decir aumentaron las noches cálidas que en muchos eventos están ligadas a olas de calor, con posible influencia sobre aspectos fisiológicos de la vid. También se encontraron diferencias significativas en el

número de días con TMax > TMax + 1ds, Tmin > Tmin + 1ds y Tmed > Tmed + 1ds.

El Nº de días con TMax > 35°C se duplicó, el Nº de días con Tmin > 15°C un 30% y > 17°C un 49% en la década final (figura 6, pág. 79).

En cambio, el Nº de días con Tmin < a -3, -2,5 y -1°C no presentaron diferencias significativas entre las décadas comparadas y tampoco PP mm y Nº PP.

En resumen los datos climáticos anuales mostraron un aumento significativo de las TMax, y Tmin, de las noches cálidas y de los días con temperaturas máximas extremas (mayores de 35°C) todo lo cual afecta diferentes procesos de la vid.

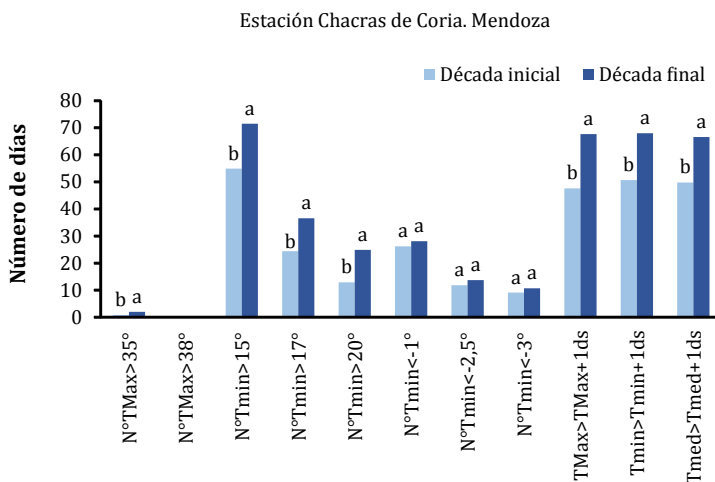


Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas  $\alpha=0,05$ .

Different letters mean significant statistical differences  $\alpha=0.05$ .

**Figura 5.** Estación Chacras de Coria, Mendoza. Comparación de índices climáticos en dos décadas.

**Figure 5.** Chacras de Coria Station, Mendoza. Climate indexes comparison in two decades.



Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas  $\alpha=0,05$ .

Different letters mean significant statistical differences  $\alpha=0.05$ .

**Figura 6.** Estación Chacras de Coria, Mendoza. Comparación de índices climáticos y ecológicos en dos décadas.

**Figure 6.** Chacras de Coria Station, Mendoza. Climatic and ecological indexes comparison in two decades.

Se evaluó mensualmente los cambios de estos parámetros y el N° de días con  $T_{Max} > T_{Max} + 1sd$ , al igual que en San Martín fue diferente en los meses de enero y marzo (tabla 7, solo se muestran los meses con valores estadísticamente diferentes). En la década final se presentaron más días con  $T_{Max} > T_{Max} + 1ds$ . En enero, la  $T_{Max} + 1ds$  fue de  $32,52^{\circ}C$  y en la década final hubo 81 días que superaron este valor, de los cuales sólo 14 días superaron los  $35^{\circ}C$ . En Marzo, la Temperatura superó los  $29,03^{\circ}C$  en 6 oportunidades, pero nunca los  $35^{\circ}C$ .

El N° de días con  $T_{min} > T_{min} + 1ds$ , se duplicó en enero, febrero y marzo

en la década final respecto de la década inicial (tabla 7).

Los índices ecológicos como la  $\Sigma$  Amplitud Térmica,  $\Sigma T_{min}$  receso I y II,  $\Sigma T^{\circ} - 10$  no presentaron diferencias significativas entre las décadas comparadas (tabla 8).

Cuando se analizaron los cambios térmicos en diferentes períodos fenológicos, se encontró que las  $T_{Max}$ ,  $min$  y  $med$  aumentaron en el período de enero a madurez (figura 7, pág . 81) en la década final respecto de la inicial, pero no hubo variación en el período de setiembre a diciembre (Brotación-enero), ni en el período abril a agosto (receso).

**Tabla 7.** Estación Meteorológica Chacras de Coria. ANAVA de los índices climáticos referidos a las temperaturas analizadas por mes.

**Table 7.** Chacras de Coria ANOVA of climatic indexes referred to temperature, by month, for each meteorological station.

	Mes	Década inicial	Década final
<b><math>T_{Max} &gt; T_{Max} + 1ds</math></b>	Enero	2,9 a	8,10 b
	Marzo	1,5 a	6,3 b
<b><math>T_{min} &gt; T_{min} + 1 ds</math></b>	Enero	2,8 a	6,8 b
	Febrero	3,8 a	6,8 b
	Marzo	2,5 a	6,7 b
<b><math>T_{med} &gt; T_{med} + 1ds</math></b>	Enero	2,4 a	8,2 b
	Marzo	2,4 a	6,5 b
	Julio	3,7 a	6,4 b

Letras diferentes representan diferencias significativas para un  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistical differences for  $\alpha=0.05$ .

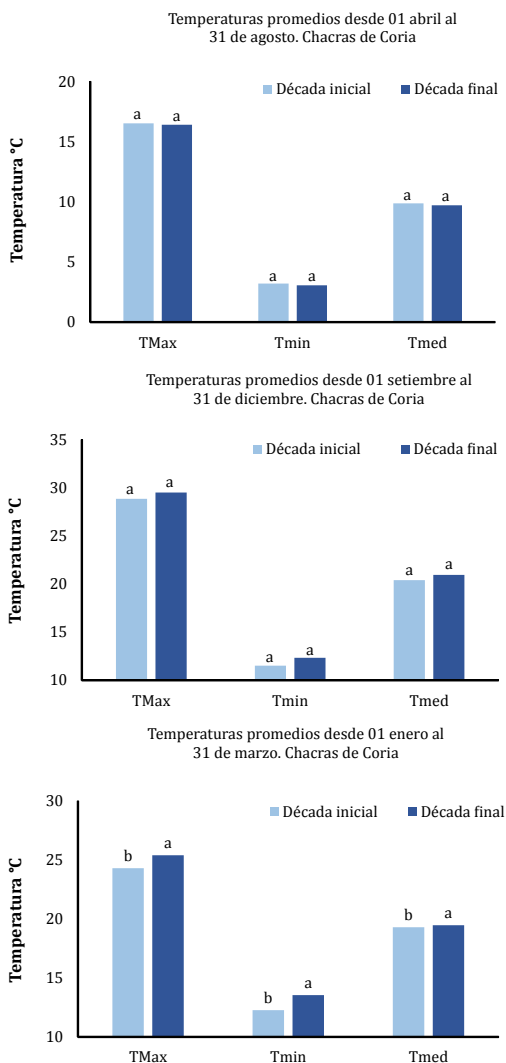
**Tabla 8.** Estación Meteorológica de Chacras de Coria. ANAVA de los índices ecológicos.

**Table 8.** Meteorological station of Chacras de Coria. ANOVA of ecological indexes.

<b>Índices Ecológicos</b>		
	Década inicial	Década final
<b><math>\Sigma T^{\circ} - 10</math></b>	1731,04 a	1733,85 a
<b><math>\Sigma T^{\circ} m</math> receso I</b>	490 a	467 a
<b><math>\Sigma T^{\circ} m</math> receso II</b>	618 a	620 a
<b><math>\Sigma T^{\circ} min</math> previo a brotación</b>	196 a	208 a
<b><math>\Sigma</math> Amplitud térmica</b>	4931 a	4935 a

Letras diferentes representan diferencias estadísticas para un  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistical differences for  $\alpha=0.05$ .



Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas,  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistically significant differences,  $\alpha=0.05$ .

**Figura 7.** Temperaturas promedio Máximas, mínimas y medias en tres períodos de la fisiología de la vid, de la estación Meteorológica Chacras de Coria. Receso vegetativo desde el 01 de abril al 31 de agosto, brotación-envero desde el 1 de setiembre al 31 de diciembre y envero-cosecha desde el 1 de enero al 31 de marzo.

**Figure 7.** Maximum Temperatures average, minimum and average in three periods of the physiology of the vine, the Meteorological Station of Coria Farms. Vegetative break from April 01 to August 31, sprouting, ripening from September 1 to December 31 and veraison-harvest from January 1 to March 31.

Tampoco se vio modificado el N° de días con Tmin < -3°, -2,5° y -1°C en los meses de marzo, abril, agosto, setiembre y octubre.

### Análisis de regresión lineal

Al evaluar la serie de datos climáticos mediante regresión, TMax, Tmed, Max T, el N° de días con Tmin>20°C y TMax > TMax+1ds, Tmed >Tmed+1ds y Tmin >Tmin+1ds se ajustaron a un modelo lineal de aumento en el tiempo (tabla 9).

Al analizar que sucede mes a mes con la T Max, se observa que esta se ajusta a un modelo de aumento lineal en el mes de enero, marzo, agosto y diciembre.

Las Tmin lo hicieron solo en Enero, Marzo y Diciembre.

Sin embargo, la Tmin, PP mm, N° PP, el N° de días con T Max>35°C y 38°C y  $\Sigma$ Amplitud térmica no se ajustaron al modelo.

**Tabla 9.** Estación Meteorológica Chacras de Coria. Regresión lineal de los índices climáticos y ecológicos para un  $\alpha=0,05$ . En los casos de ser significativo se muestra la variación anual.

**Table 9.** Chacras de Coria Linear regression for climatic indexes for  $\alpha=0.05$ . Slope value is shown for the cases with statistical differences.

Índices climáticos y ecológicos		
	P Value	Variación anual
TMax	0,0075	0,02
Tmin	0,0891	---
Tmed	0,0052	0,01
Max T	0,0038	0,04
Min T	0,8987	---
N° PP	0,7892	---
PP mm	0,6418	---
T°-10	0,0043	5,78
N° TMax>35°	0,0721	---
N° de días con TMax>38°	0,1144	---
N° Tmin>17°	0,0005	0,25
N° Tmin>15°	0,0001	0,37
N° Tmin>20°	0,0001	0,24
$\Sigma$ de Amplitud térmica	0,4315	---
TMax>TMax+1ds	0,0009	0,66
Tmed>Tmed+1ds	0,0023	0,48
Tmin>Tmin+1ds	0,0003	0,4
N°Tmin<-1°	0,8380	---
N°Tmin<-2.5°	0,8924	---
N°Tmin<-3°	0,9172	---

Chacras de Coria						
Mes	TMax >TMax+1ds		Tmin>Tmin+1ds		Tmed>Tmed+1ds	
	P value	Variación anual	P value	Variación anual	P value	Variación anual
Enero	0,0059	0,11	0,002	0,09	0,0005	0,12
Febrero	---	---	0,1689	---	0,1137	---
Marzo	0,0001	0,12	0,0232	0,08	0,0133	0,09
Abril	0,1264	---	0,8639	---	0,6844	---
Mayo	0,9697	---	0,4767	---	0,8069	---
Junio	0,4675	---	0,5598	---	0,7785	---
Julio	0,1216	---	0,7311	---	0,0947	---
Agosto	0,0415	0,06	0,5182	---	0,3224	---
Septiembre	0,3546	---	0,7177	---	0,9222	---
Octubre	0,0954	---	0,3162	---	0,2392	---
Noviembre	0,0735	---	0,2199	---	0,0858	---
Diciembre	0,0466	0,07	0,0229	0,07	0,1055	---



Por el contrario, el N° de días con Tmin >15°,17°C sí se ajusta a un modelo lineal de aumento en el tiempo (tabla 9, pág. 82).

**San Rafael**

*ANAVA*

En San Rafael, los valores de la década final mostraron un aumento significativo de 0,92°C en la TMax y de 0,6°C en la Tmed (figura 8). El N° de días con TMax>TMax+1ds creció un 30% y Tmed>Tmed+1ds un 29% en el período estudiado.

No se presentaron diferencias estadísticas en Tmin, Max T y Min T, en el N° de días con Tmin >20°C ni en Tmin>Tmin+1ds (figura 9, pág. 82).

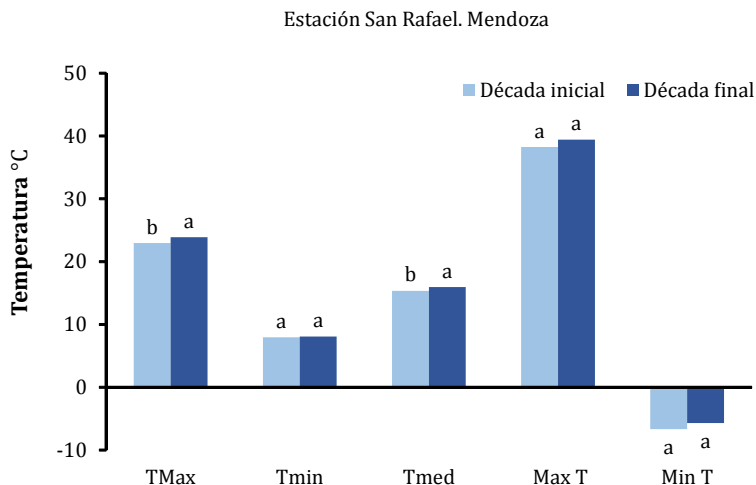
En cuanto a los índices ecológicos, hubo un incremento significativo en la suma del N° de días con TMax>35°C en un 47%,

Tmin>15°C un 21% y Tmin >17°C un 40%. No se presentaron diferencias estadísticas en el N° de días con Tmin <-1°, -2,5° ni -3°C (figura 9, pág. 84). En esta zona de San Rafael, no se detectaron variaciones en el volumen precipitado anualmente ni en el N° de días que precipitó.

Hubo un incremento significativo en la suma de T°-10 del 11 % y en la Σ Amplitud Térmica 8% en la década final.

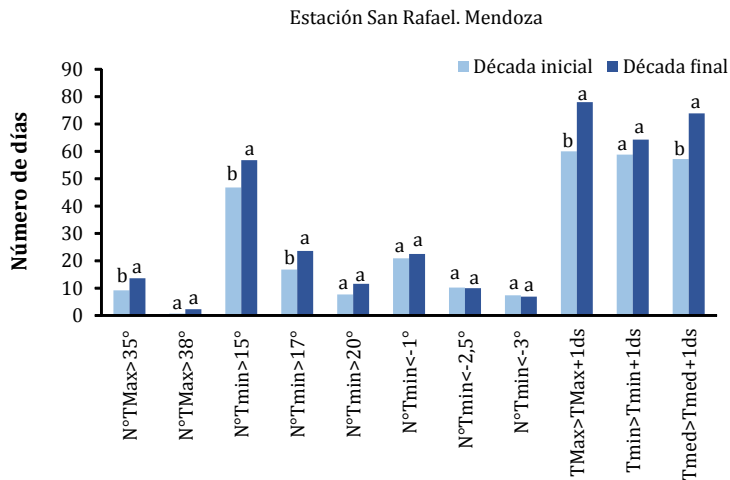
No se presentaron diferencias estadísticas en la ΣTmin receso I y II ni en ΣTmin previa a brotación (tabla 10, pág. 84).

Del análisis de cada mes del año, el N° de días con Tmin >Tmin+1ds sólo fueron superiores en enero y febrero. Las TMax>TMax+1ds sólo en el mes de marzo y las Tmed>Tmed +1ds en enero y marzo (tabla 11, pág. 84; solo se muestran los meses con diferencias significativas).



Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas α=0,05.  
Different letters mean significant statistical differences α=0.05.

**Figura 8.** Estación San Rafael, Mendoza. Comparación de índices climáticos en dos décadas.  
**Figure 8.** San Rafael Station, Mendoza. Climate indexes comparison in two decades.



Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas  $\alpha=0,05$ .

Different letters mean significant statistical differences  $\alpha=0.05$ .

**Figura 9.** Estación San Rafael, Mendoza. Comparación de índices climáticos y ecológicos en dos décadas.

**Figure 9.** San Rafael Station, Mendoza. Climatic and ecological indexes comparison in two decades.

**Tabla 10.** Estación Meteorológica de San Rafael. ANAVA de los índices ecológicos.

**Table 10.** Meteorological station of San Rafael. ANOVA of ecological indexes.

Índices ecológicos		
	Década inicial	Década final
$\Sigma T^{\circ}-10$	1948 a	2173 b
$\Sigma T^{\circ}m$ receso I	507 a	575 a
$\Sigma T^{\circ}m$ receso II	649 a	699 a
$\Sigma T^{\circ}min$ previo a brotación	177 a	199 a
$\Sigma$ Amplitud térmica	5297 a	5756 b

Letras diferentes representan diferencias estadísticas para un  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistical differences for  $\alpha=0.05$ .

**Tabla 11.** Estación Meteorológica San Rafael. ANAVA de los índices climáticos referidos a las temperaturas analizadas por mes.

**Table 11.** San Rafael ANOVA of climatic indexes referred to temperature, by month, for each meteorological station.

	Mes	Década inicial	Década final
TMax>TMax+1ds	Marzo	2,5 a	7 b
Tmin>Tmin+1 ds	Enero	2,9 a	5,9 b
	Febrero	3,1 a	5,3 b
Tmed>Tmed+1ds	Enero	2,6 a	5 b
	Marzo	2,1 a	6,6 b

Letras diferentes representan diferencias significativas para un  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistical differences for  $\alpha=0.05$ .

No surgieron cambios en el N° de días con Tmin < -3°, -2,5°, -1°C para los meses de marzo, abril, agosto, setiembre y octubre.

Durante el período de envero a madurez se vieron incrementadas las TMax, min y media entre los dos períodos comparados (figura 10, pág. 86).

Durante el período de brotación a envero se vieron afectadas las TMax y las Tmed, no así las Tmin.

Durante los meses de mayo, junio, julio no hubo diferencias significativas en las Temperaturas Máximas, mínimas y medias.

*Análisis de regresión lineal*

En la estación meteorológica San Rafael, T°-10, el N° de días con TMax >35° y >38°C y Tmin >15° y 17°C como también la suma de amplitudes térmicas se ajustaron a un modelo de aumento lineal en el tiempo durante los últimos 50 años (tabla 12).

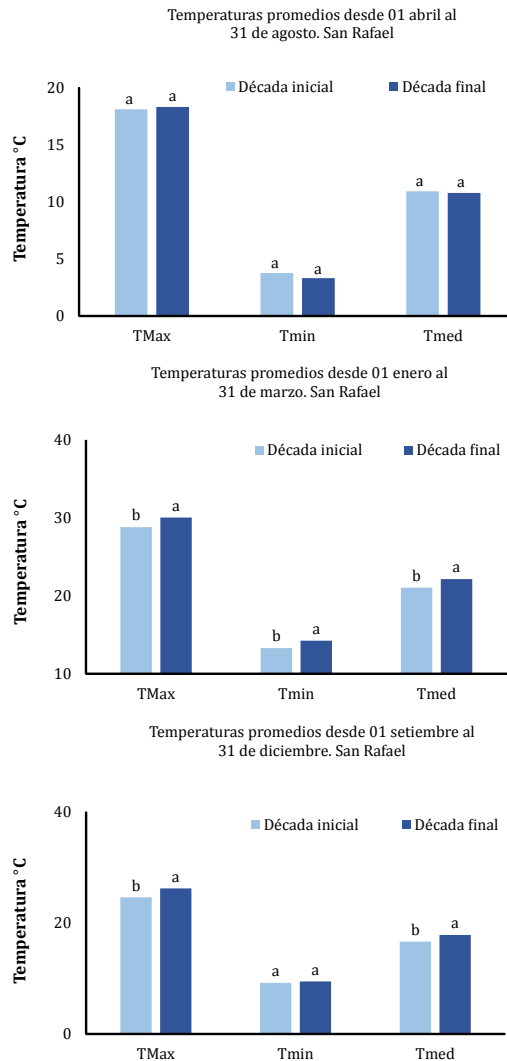
Al analizar mes a mes, se encontró que el mayor impacto sobre la TMax, se produjo en los meses de febrero y marzo. Respecto del N° de días con Tmin >Tmin+1ds y Tmed>Tmed+1 ds también incrementaron linealmente en enero, febrero y marzo.

**Tabla 12.** Estación Meteorológica San Rafael. Regresión lineal de los índices climáticos y ecológicos para un  $\alpha=0,05$ . En los casos de ser significativo se muestra la variación anual.

**Table 12.** San Rafael Linear regression for climatic and ecological indexes for  $\alpha=0.05$ . Slope value is shown for the cases with statistical differences.

Índices climáticos y ecológicos		
	P value	Variación anual
TMax	0.0075	0.02
Tmin	0.0891	---
Tmed	0.0052	0.02
Max T	0.0321	---
Min T	0.2167	---
N° PP	0.7892	---
PP mm	0.6418	---
$\Sigma T^{\circ}-10$	0.0043	5.78
N° TMax>35°	0.012	0.11
N° de días con TMax>38°	0.0059	0.04
N° Tmin>17°	0.016	0.19
N° Tmin>15°	0.0017	0.31
N° Tmin>20°	0.0468	0.11
$\Sigma$ de amplitud térmica	0.0264	6.62
TMax>TMax+1ds	0.0083	0.38
Tmed>Tmed+1ds	0.0099	0.36
Tmin>Tmin+1ds	0.187	0.19

Mes	San Rafael					
	TMax >TMax+1ds		Tmin>Tmin+1ds		Tmed>Tmed+1ds	
	P value	Variación anual	P value	Variación anual	P value	Variación anual
Enero	0,1355	---	0,0075	0,07	0,0556	0,04
Febrero	0,0172	0,07	0,0477	0,06	0,0478	0,05
Marzo	0,0023	0,1	0,0466	0,06	0,0019	0,11
Abril	0,5508	---	0,376	---	0,9166	---
Mayo	0,2137	---	0,2645	---	0,1297	---
Junio	0,4139	---	0,1258	---	0,7698	---
Julio	0,4161	---	0,942	---	0,6507	---
Agosto	0,1971	---	0,4215	---	0,27	---
Septiembre	0,7968	---	0,8017	---	0,2627	---
Octubre	0,239	---	0,588	---	0,5005	---
Noviembre	0,1023	---	0,2524	---	0,0689	---
Diciembre	0,6465	---	0,2436	---	0,1424	---



Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas,  $\alpha=0,05$ .

Different letters represent statistically significant differences,  $\alpha=0.05$ .

**Figura 10.** Temperaturas promedios Máximas, mínimas y medias en tres períodos de la fisiología de la vid, de la estación Meteorológica San Rafael. Receso vegetativo desde el 01 de abril al 31 de agosto, brotación-envero desde el 1 de setiembre al 31 de diciembre y envero-cosecha desde el 1 de enero al 31 de marzo.

**Figure 10.** Maximum Temperatures average, minimum and average in three periods of the physiology of the vine, of the Weather Station San Rafael. Vegetative break from April 01 to August 31, sprouting, ripening from September 1 to December 31 and veraison-harvest from January 1 to March 31.

## DISCUSIÓN

### San Martín

El incremento en la Tmed encontrado en este oasis fue superior al informado por el IPCC (2007) como cambio global terrestre promedio. Sin embargo, aumentos en la Tmed, no aportan información específica desde el punto de vista agronómico, fundamentalmente vitícola. Ya que el aumento de la Tmed, puede estar dado por incrementos en las TMax y Tmin, o solo en una de ellas teniendo un impacto ecológico muy diferente.

Sin embargo, la Max T anual incrementó dejando en evidencia el aumento de los eventos extremos. Esto podría afectar los rendimientos en los cultivos ya que por estas altas temperaturas se reduciría la fotosíntesis neta, disminuiría la eficiencia en el uso del agua y, como consecuencia ciertos genotipos podrían ver afectada su productividad.

Desde el punto de vista de cumplimiento de horas de frío para salir de dormición no habría inconvenientes, pero la fecha de brotación podría anticiparse (25, 43, 46), la suma de temperaturas mínimas durante el receso vegetativo (I y II), y la suma de temperaturas previo a brotación (mayores Tmin) se han visto incrementadas estadísticamente en la década final.

Por otra parte, la modificación en el patrón de precipitaciones evidencia el cambio en el tipo de lluvias ocurridas a un carácter más torrencial coincidente con lo pronosticado por IPCC 2007 (20).

Así, al calcular PP mm dividido el N° PP da un promedio de 4,6 mm por lluvia en la década inicial y de 8,6 en la década final.

Si bien son volúmenes bajos, se han duplicado en los últimos 50 años con consecuencias negativas en zonas pobladas y cultivadas. Además no existe infraestructura para aprovechar las

escasas lluvias torrenciales que precipitan en suelos franco-arcillosos con escasa penetración en profundidad.

La ausencias de variaciones en las TMax, med y min+1ds durante el receso y de las TMax+1ds en el período brotación-envero acompañadas de incrementos en dicho período de la Tmin+1ds podrían afectar la fisiología de la vid y la calidad enológica de las uvas.

Al no haber variaciones en las Tmin  $<-1^{\circ}$  y  $-3^{\circ}\text{C}$  durante el receso vegetativo no deberían variar los daños por heladas intensas (25).

Diversos autores sugieren que en zonas frías, los inviernos fríos seguidos de primaveras cálidas y veranos de cálidos a calurosos serían las condiciones adecuadas para el crecimiento de la vid y para la obtención de vinos de alta calidad (6, 10, 15, 22).

En zonas templadas cálidas estas condiciones podrían no ser favorables. Además, el número de días con Tmin  $<-2,5^{\circ}\text{C}$  en el mes de setiembre en la década final fue estadísticamente menor que en la década inicial por lo que habría menor riesgo de ocurrencias de heladas al momento de brotación.

El IPCC y otros autores también han advertido sobre el aumento de la ocurrencia de eventos extremos como la Max T (20). Para detectarlos regionalmente se decidió cuantificar el N° de días con TMax  $> 35^{\circ}\text{C}$  y  $> 38^{\circ}\text{C}$  ya que Zufferey (2000) mostró disminuciones drásticas de la fotosíntesis a esas temperaturas. El incremento encontrado de las Tmin podría tener efectos en la ganancia neta de carbono diaria de la planta, pudiendo acelerar la acumulación de  $^{\circ}\text{Brix}$  de la uva, provocando un defasaje entre  $^{\circ}\text{Brix}$  y compuestos polifenólicos (39).

La diferenciación floral podría verse afectada ya que condiciones cálidas en el momento de inicio favorecen la misma (5-7 semanas desde brotación) (33).

El incremento de días con temperaturas mínimas más altas puede afectar el ciclo vegetativo de diversas formas:

i- Adelantar el inicio del ciclo vegetativo de la vid una vez cumplidos sus requerimientos de unidades de frío para salir de dormición que se estima en promedio en 200 horas (27).

ii- Adelantar la cosecha en concordancia con lo propuesto por otros autores (39). Esto podría deberse a que la fotosíntesis neta se incrementaría por encontrarse con temperaturas próximas a la óptima, en consecuencia la acumulación de azúcares en la baya sería más rápida, aunque podría no estar acompañada de la síntesis de compuestos polifenólicos.

Los aumentos en el N° de días con  $T_{Max} > T_{Max} + 1ds$  podría ocasionar inconvenientes en la acumulación de polifenoles (color y aroma) pero no afectarían sustancialmente la fotosíntesis (46) y en consecuencia la producción de azúcares. La disminución en el N° de días con bajas T ( $-3^\circ$ ,  $-2,5^\circ$ ,  $-1^\circ C$ ), la  $T_{min}$  y  $\sum T_{min}$  previa a brotación, sería beneficioso al disminuir el riesgo de heladas tardías y tempranas, o lo que es lo mismo aumentando el período libre de heladas.

### Chacras de Coria

El incremento en las  $T_{Max}$  tiene importancia a nivel meteorológico pero es útil conocer la intensidad y la duración para estudiar su efecto en la fisiología vegetal.

El aumento de las  $T_{Max} > T_{Max} + 1ds$  en Enero y Febrero pueden traer las mismas consecuencias en la fenología de la vid, explicadas en la Discusión (Zona Este: San Martín).

Cabe destacar que hay un incremento en los eventos de alta temperaturas, no así en los de bajas temperaturas (N° de días con  $T_{min} < -3$ ,  $-2,5$  y  $-1^\circ C$ ). La síntesis de hidratos de carbono podría ser afectada en forma leve si las variedades se aclimatan de acuerdo con lo sugerido por Zufferey (2000).

Sin embargo, la biosíntesis de polifenoles se vería afectada dependiendo del cultivar, ya que existe evidencia que a  $40^\circ C$  la magnitud de la disminución de estos compuestos es diferentes en Malbec y Cabernet Sauvignon (10).

Las  $T_{Max} > T_{Max} + 1ds$  de marzo favorecen la máxima fotosíntesis neta y es adecuada para la biosíntesis de metabolitos secundarios, por lo que podría esperarse un adelanto en la cosecha de las uvas.

Los promedios mensuales para enero, febrero y marzo de las  $T_{min} > T_{min} + 1sd$ , en la década final fueron  $18,7^\circ$ ,  $17,75^\circ$  y  $15,9^\circ C$  respectivamente, mientras que en la década inicial fueron  $15^\circ$ ,  $14,55^\circ$  y  $11,47^\circ C$ . Esta diferencia de aproximadamente  $3^\circ C$  podría afectar, la fecha de cosecha por un lado, adelantando la acumulación de azúcar en las bayas, pero provocando un defasaje con la síntesis de antocianos (40).

La variación en los últimos 50 años de la  $T_{Max}$  se ajustó a un modelo de aumento lineal. De continuar esta variación puede adelantarse la brotación de las plantas y traer consecuencias negativas desde el punto de vista de daños por heladas tardías (no han variado los días con heladas).

El aumento de Temperatura en diciembre y enero podría adelantar el envero y la cosecha según los  $^\circ Brix$  junto con el incremento en marzo. Podría existir un desacople con la biosíntesis de compuestos polifenólicos (40) pero no debería ser de gran magnitud por el rango de temperaturas en el cual se encuentra esta zona.

Los rendimientos podrían no ser afectados en esta zona, ya que las temperaturas en el momento de diferenciación floral no han variado significativamente ni presentan una tendencia de aumento lineal. Por lo tanto el componente de mayor variación en los rendimientos (racimos por planta) no se vería afectado (5).

### **San Rafael**

En San Rafael se detectó variaciones en la TMax y Tmed; esto podría traer como consecuencia la disminución de la biosíntesis de polifenoles o incrementar su defasaje respecto de los °Brix (10, 30, 39); afectar la diferenciación floral o adelantar la brotación y demás etapas fenológicas dependiendo del momento en el cual estos incrementos se producen con mayor intensidad (42).

Al analizar mensualmente, se encontró que en Enero se produjeron diferencias entre las dos décadas, presentando la década final TMax de 34,5°C. En abril, las TMax fueron de 27°C, sin embargo, excepcionalmente se encuentra la uva sin cosechar en este momento por lo que no tendría influencia en la calidad de la cosecha, pero sí en la acumulación de reservas de la planta (46) lo que podría favorecer la brotación del año siguiente.

El incremento en la TMax +1ds en Marzo y Tmin>Tmin+1ds en enero y febrero podría afectar la fecha de cosecha, ya que al iniciar el día con mayores temperaturas, la tasa fotosintética neta debería ser mayor a lo largo del día y permitir mayor acumulación de azúcares.

Del análisis de Tmin < -3, -2,5 y -1°C, se refleja que el N° de días con heladas tardías o tempranas no varió entre ambas décadas. Como tampoco la suma de Tmin receso (I y II).

En cambio, aumentó la Tmed del mes de setiembre, por lo cual el inicio de la brotación no debería verse afectado ni el riesgo de daño por heladas tardías (de igual probabilidad en las dos décadas).

Tampoco deberían verse afectados los rendimientos por efecto de la temperatura ya que la misma ni aumenta ni disminuye en el período de diferenciación floral en las yemas basales de los brotes. En caso de podas largas, podría verse disminuida la diferenciación floral de aproximadamente la yema 4-6 dependiendo de la variedad (42).

Se observa que los eventos extremos se están registrando solo en las TMax.

El incremento en el N° de días con TMax>38°C podría afectar negativamente la cosecha desde un punto de vista de contenido de °Brix y compuestos polifenólicos. Si bien las mínimas también aumentan por lo que la planta iniciaría el día con una tasa neta superior a otras zonas, esto podría lograr un balance diario sin variaciones considerables en cuanto a azúcar. Existe evidencia que a T mayores de 35°C podría haber destrucción de polifenoles, además de verse su síntesis totalmente paralizada (24).

### **CONCLUSIONES**

El cambio climático global en la Provincia de Mendoza, se ha manifestado con diferentes intensidades en los principales oasis productores de uva. En general, se ha producido un incremento de las TMax en los meses que van desde preverano a madurez. Esto podría adelantar las fechas de cosecha si únicamente se tiene en cuenta los °Brix. Pero este aumento en los °Brix trae como consecuencia un defasaje entre azúcar y polifenoles e incluso podría disminuir el contenido final de dichos compuestos en uvas y vinos tintos (10, 30, 40).

Podría extenderse el período poscosecha y afectar los rendimientos en algunos cultivares (38). Como herramienta para mitigar alguna de estas consecuencias a fin de conseguir igual intensidad de polifenoles debería retrasarse la cosecha obteniéndose uvas de mayor concentración azucarina como demostró Sadras *et al.* (2011) o realizar estrés hídrico (31), aplicar hormonas (9) o combinaciones de éstas para lograr estimular la biosíntesis de compuestos fenólicos sin afectar la acumulación de azúcares.

Además, el incremento en las T mínimas en el oasis Este (Estación Meteorológica San Martín) podría producir el adelanto de la fecha de brotación con el consecuente mayor riesgo de las heladas tardías ya que el N° de heladas no ha sido modificado. Asimismo podría verse afectada la diferenciación floral ya que las altas temperaturas estarían favoreciendo la misma (42). De continuar esta tendencia en los cambios de T, la consecuencia más inmediata sería una modificación en la acumulación

de azúcares, el desacople (40) con los polifenoles dependiendo de la región y de la variedad, como también el adelanto de la fecha de brotación.

En general, se ha detectado un aumento en la variabilidad de los eventos analizados que no siempre se han visto reflejados en los valores medios. Esto puede explicar eventos puntuales como heladas inesperadas para el momento del ciclo biológico como las ocurridas en setiembre de 2013 en Mendoza.

Se especula también, una posible degradación de antocianinas por altas temperaturas en las zonas donde la TMax ha incrementado en febrero-marzo. Cabe destacar que en estudios a campo, incrementos de hasta 4°C en la temperatura máxima del aire solo se reflejó en hasta 3,2°C en racimos y hasta 1,1°C en yemas (38). Por lo tanto es de gran importancia para el sector realizar estudios de los cambios en la fenología y contenido de polifenoles en las uvas y proponer estrategias para mitigar los efectos no deseados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Amerine, M.; Winkler, A. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*. 15: 493-675.
2. Atkin O. K.; Holly C.; Ball M. C. 2000. Acclimation of snow gum (*Eucalyptus pauciflora*) leaf respiration to seasonal and diurnal variations in temperature: the importance of changes in the capacity and temperature sensitivity of respiration. *Plant, Cell and Environment*. 23, 15-26.
3. Boninsegna, J.; Villalba, R. 2006. Los condicionantes geográficos y climáticos. Documento marco sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan. Primer informe a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 19 p.
4. Castellarin S. D.; Pfeiffer A.; Sivillotti, P. 2007. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit, *Plant Cell and Environment* 30, 1381-1399.
5. Clingeleffer, P. R.; Martin, S.; Kristi, M.; Dunn, G. M. 2001. Crop development, crop estimation and crop control to secure quality and production of major wine grape varieties: A National Approach final Report to Grape and Wine Research and Development Corporation. GWRC. Wayville, SA. Australia.
6. Coombe, B. G. 1987. Distribution of solutes within the developing grape berry in relation to its morphology. *American Journal of Enology and Viticulture*. 38: 120-127.
7. Coombe B. G.; Hale R. C. 1973. The hormone content of ripening grape berries and the effects of growth substance treatments. *Plant Physiol*. 51: 629-634.



8. Davies, C.; Boss, P. K.; Robinson, S. P. 1997. Treatment of grape berries a nonclimacteric fruit with a synthetic auxin, retards ripening and alters the expression of developmentally regulated genes. *Plant Physiol.* 115(3): 1155-1161.
9. Deis, L.; Cavagnaro, B.; Bottini, R.; Wuilloud, R.; Silva, M. F. 2011. Water deficit and exogenous ABA significantly affect grape and wine phenolic composition under in field and *in vitro* conditions. *Plant Growth Regul.* 65(1): 11-21.
10. Deis, L.; de Rosas M. I.; Cavagnaro J. B. 2012. High temperature and abscisic acid modified the profile of anthocyanins in grape (*Vitis vinifera* L.). *Journal of life Science.* 6(7): 758-765.
11. Desclee, E. 1991. Role et influence de l'action reciproque des stades phenologiques majeurs et du climat sur la qualite du millesime en Gironde, Master's Thesis, Department of Agriculture, Institut Superieur Industrial de la Province du Hainaut.
12. Di Rienzo J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
13. Duchene, E.; Scheneidre, C. 2005. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development.* 25: 93-99.
14. Duchene, E.; Huard, F.; Dumas, V.; Scheneider, C.; Merdinoglu, D. 2010. The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate Reserach.* 41: 193-2004.
15. Gladstones, J. 1992. *Viticulture and Environment.* Winetitles. Adelaide. Australia. 310 p.
16. Guidoni, S.; Allra, P.; Schubert, A. 2002. Effects of cluster thinning on berry skin anthocyanin composition of *Vitis vinifera* cv. Nebbiolo. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: 224-226.
17. Haselgrove, L.; Botting, D.; Van Heeswijck, R.; Hoj, P.; Dry, P.; Ford, C. 2000. Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv Shiraz grape berries, *Aust. J. Grape Wine Research.* 6: 141-149.
18. Hidalgo, L. 1999. *Tratado de viticultura general* Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
19. Huglin, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *C.R. Acad. Agric. France:* 1116-1127.
20. IPCC Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. (eds) Cambridge University Press; Cambridge, United Kingdom and New York. NY. USA. 18 p.
21. IPCC, 2013. Working Group I contribution to the IPCC fifth assessment Report (AR5) *Climate Change 2013 : The physical Science basis twelfth Session* Stockholm.
22. Jones, G. V. A. 1997. Synoptic climatological assessment of viticultural phenology. Dissertation, University of Virginia, Department of Environmental Sciences. 394 p.
23. Kataoka, I.; Kubo, Y.; Sugiura, A.; Tomana, T. 1983. Effects of temperature, cluster shading and some growth regulators on L-phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin accumulation in black grapes. *Mem Coll. Agric. Kyoto Univ.* 124: 35-44.
24. Klein Tank, A. M. G.; Wijngaard, J. B.; Konnen, G. P.; Bohn, B.; Demaree, G.; Gocheva, A.; Mileta, M.; Pashiardis, S.; Hejrlík, L.; Kern-Hansen, C.; Heino, R.; Bessemoulin, P.; Müller-Westermeier, G.; Tzanakou, M.; Szalai, S.; Palsd' Ottir, T.; Fitzgerald, D.; Rubin, S.; Capaldo, M.; Maugeri, M.; Leitass, A.; Bukantis, A.; Aberfeld, R.; Van Englen, A. F. V.; Forland, E.; Mielus, M.; Coelho, F.; Mares, C.; Razuvaev, V.; Nieplova, E.; Cegnar, T.; Antonio Lopez, J.; Dahlstrom, B.; Moberg, A.; Kirchofer, W.; Ceylan, A.; Pachaliuk, O.; Alexander, L.V.; Petrovic, P. 2002. Daily surface air temperature and precipitation dataset 1901-1999 for European Climate Assessment (ECA), *Int. J. Climatol.* 22: 1441-1453.
25. Lavee, S.; May, P. 1997. Dormancy of grapevine buds - facts and speculation. *Australian Journal of grape and wine research,* 3: 31-46.
26. Lombard, P.; Richardson, E. A.. 1979. Physical principles involved in controlling phenological development, p. 429-440. In: B.J. Barfield and J.N. Moore (eds.). *Modification of the aerial environment of crops.* Amer. Soc. Agr. Eng.
27. Magoon, C. A.; Dix, I. W. 1943. Observations on the response of grape vines to winter temperatures as related to their dormancy requirements. *Proc Amer. Soc. Hort. Sci.* 42: 407-12.

28. Masiokas, M. H.; Villalba, R.; Christie, D. A.; Betman, E.; Luckman, B. H.; Le Quesne, C.; Prieto, M. R.; Mauget, S. 2012. Snowpack variations since AD 1150 in the Andes of Chile and Argentina (30°-37°S) inferred from rainfall, tree-ring and documentary records, *J. Geophys. Res.* 117: 1-11.
29. Montaña, E. 2011. Escenarios espaciales del cambio climático ambiental global en áreas de regadío. VIII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA", Talavera de la Reina.
30. Mori, K; Goto-Yamamoto, N.; Kitayama, M.; Hashizume, K. 2007. Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *J. Exp. Botan.* 58: 1935-1945.
31. Ojeda, H.; Andary, C.; Kraeva, E.; Carbonneau, A.; Deloire, A. 2002. Influences of pre- and post- veraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: 261-267.
32. Pérez-Magariño S.; González-San José, M. L. 2004. Índices de madurez tecnológica basados en antocianino y flavánico. *Tecnología del vino* 20: 61-66.
33. Petrie, P. R.; Clingeleffer, P. R. 2005. Effects of temperature and light (before and after budburst) on inflorescence morphology and flower number of Chardonna grapevines (*Vitis vinifera* l.) *Aust. J. Grape Wine Res* 11: 59-65.
34. Peverelli, M. C. Rogers, W. J. 2013. Heat stress effects on crop performance and tools for tolerance breeding. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 45(2): 349-368.
35. Presa-Owens, C.; Lamuela-Raventos, R.; Buxaderas, S.; Torre-Boronat, C. 1995. Characterization of Macabeo, Xarel.lo and Parrellada hite wines from the Penedes region. 11. *Amer. J. Enol. Viticult.* 46: 529-541.
36. Price S. F.; Breen, P. J.; Valladao, M.; Watson, B. T. 1995. Cluster sun exposure and quercetin in Pinot Noir grapes and wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 46(2): 187-194.
37. Rogiers, S. Y.; Hardie, W. J.; Smith, J. P. 2011. Stomatal density of grapevine leaves (*Vitis vinifera* L.) responds to soil temperature and atmospheric carbon dioxide. *Australian Journal of Grape and Wine Research.* 17:147-152.
38. Sadras, V. O.; Soar, C. J. 2009. Shiraz vines maintain yield in response to a 2-4°C increase in maximum temperature using an open-top heating system at hey phenostages. *European Journal of Agronomy.* 31: 250-258.
39. Sadras, V. O.; Petrie, P. R. 2011. Climate shifts in south-eastern Australia: early maturity of Chardonnay, Shiraz and Cabernet Sauvignon is associated with early onset rather faster ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research.* 17: 199-205.
40. Sadras, V. O.; Moran, M. A. 2012. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Australian Journal of Grape and Wine Research.* 18: 115-122.
41. Sadras, V. O.; Moran, M. A. 2013. Nonlinear effects of elevated temperature on grapevine phenology. *Agricultural and Forest Meteorology.* 173: 107-115.
42. Vasconcelos, M. C.; Greven, M.; Winefield, S.; Trought, M. C. T.; Raw, V. 2009. The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. *Am. J. Enol. Vitic.* 60(4): 411-434.
43. Webb, L.; Whetton, P.; Barlow, E. W. R. 2007. Modelled impact of future climate change on phenology of wine grapes in Australia. *Aust. J. Grape Wine Res.* 13: 165-175.
44. Winkler, A. 1974. *General Viticulture* 4th ed (Berkeley, CA: University of California Press) p 740.
45. Wolfe, D. W.; Schwartz, M. D.; Lakso, A. N.; Otsuki, Y.; Pool; R. M.; Shaulis, N. J. 2005. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *International Journal of Biometeorology.* 49: 303-309.
46. Zufferey, J. V. 2000. Echanges gazeaux des feuilles ches *Vitis vinifera* en fonction des parametres climatiques et physiologiques et des modes de conduite de la vigne. These présentée a l' Ecole Polytechnique Federale du Zurich.