

# Variabilidad agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén

Análisis de los últimos 50 años

Andrea Rodríguez y Ángel Muñoz

# Variabilidad agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén

Análisis de los últimos 50 años

*Andrea Rodríguez y Ángel Muñoz*



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Argentina

*INTA Ediciones*  
*Centro Regional Patagonia Norte*  
*2022*

551.58    Rodríguez, Andrea  
R61        Variabilidad agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y  
              Neuquén : análisis de los últimos 50 años / Andrea Rodríguez  
              y Ángel Muñoz. – Buenos Aires : Ediciones INTA, Centro  
              Regional Patagonia Norte, 2022.  
              69 p. : il. (en PDF)

ISBN 978-987-679-330-8 (digital)

i. Muñoz, Angel. ii. título

CLIMATOLOGIA – AGRO CLIMATOLOGIA – VARIABILIDAD DEL CLIMA –  
ALTO VALLE, RIO NEGRO – NEUQUEN

DD-INTA

*Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto, queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899.*

**Diseño:**

Sebastián Izaguirre, INTA Alto Valle

*Este libro*

*cuenta con licencia:*



## CONTENIDOS

---

4	<b>Prólogo</b>
5	<b>Presentación</b>
7	<b>CAPÍTULO 1 - ANÁLISIS DE TEMPERATURAS</b>
8	1.1. Régimen térmico anual.
9	1.2. Variabilidad temporal de la temperatura media de aire.
9	1.3. Variabilidad temporal de la temperatura máxima de aire.
10	1.4. Variabilidad temporal de la temperatura mínima de aire.
11	1.5. Variabilidad de temperaturas absolutas.
11	1.6. Variabilidad térmica estacional.
16	1.7. Régimen de heladas.
18	1.7.1. <i>Evaluación del índice de riesgo de heladas en frutales.</i>
19	1.7.2. <i>Variabilidad interanual de heladas.</i>
23	1.8. Requerimiento de frío invernal.
23	1.8.1. <i>Variabilidad interanual de acumulación de frío.</i>
26	1.9. Variabilidad espacial de temperaturas.
29	<b>CAPÍTULO 2 - ANÁLISIS DE RADIACIÓN SOLAR</b>
31	2.1. Peligrosidad de daño por sol en frutales.
33	<b>CAPÍTULO 3 - ANÁLISIS DE VIENTO</b>
41	<b>CAPÍTULO 4 - HUMEDAD RELATIVA</b>
43	<b>CAPÍTULO 5 - EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETO)</b>
45	<b>CAPÍTULO 6 - ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES</b>
47	6.1. Variabilidad interanual de lluvias.
48	6.2. Variabilidad estacional de lluvias.
53	6.3. Variabilidad anual de la frecuencia de lluvias.
54	6.4. Variabilidad estacional de la frecuencia de lluvias.
58	6.5. Variabilidad espacial de lluvias.
61	<b>CAPÍTULO 7 - GRANIZADAS</b>
64	<b>Consideraciones Finales</b>
65	<b>Bibliografía</b>
67	<b>ANEXO 1.</b>
	Análisis de variabilidad Interanual de grados días para <i>Cydia pomonella</i> (carpocapsa) en el Alto Valle de Neuquén y Río Negro.

## PRÓLOGO

En la actualidad existe una creciente demanda de datos climáticos confiables para conocer sus efectos sobre diferentes actividades humanas, evaluar los riesgos de desastre, la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos.

Específicamente, los datos agrometeorológicos permiten determinar la aptitud agropecuaria de una región como la norpatagónica, que tiene características ambientales propias. El estudio de la variabilidad espacial y temporal de dichas características constituye una herramienta estratégica para la planificación y el manejo de los actuales sistemas agrícola-ganaderos y para evaluar la factibilidad de opciones de diversificación de cultivos u otras actividades productivas.

La Estación Experimental Ing. Agr. Carlos H. Casamiquela – Alto Valle del INTA, cuenta con registros históricos de los últimos 50 años y una base de datos depurada y consolidada a través de un minucioso trabajo realizado por los autores durante la última década. Esta información permite realizar un pormenorizado análisis de la ocurrencia de eventos meteorológicos como temperaturas extremas y promedio, lluvias, sequías, heladas, tormentas de granizo, vientos y radiación, entre otros. El análisis de esta serie histórica habilita, además, a discernir entre situaciones de variabilidad climática y el cambio climático propiamente dicho.

En el aspecto temporal de los efectos sobre los cultivos es posible generar índices bioclimáticos como días-grado para el control de plagas y enfermedades, horas de frío y calor para el desarrollo de los cultivos e índices tecnoclimáticos como las ventanas de aplicación de agroquímicos o riesgos de incendios, entre otros.

A las estaciones meteorológicas propias de la Institución se han sumado en los últimos años una gran cantidad de otros equipos distribuidos por todo el valle, gracias a acuerdos realizados con diferentes empresas, productores e instituciones regionales. Este hecho permitió conformar una red público-privada de gran utilidad para evaluar las condiciones climáticas año a año y fortalecer el sistema de seguimiento de la variabilidad de las condiciones ambientales.

Toda la información recabada se difunde en tiempo real a través de la página web del INTA (<https://inta.gob.ar/paginas/agrometeorologia-alto-valle>) y aplicaciones móviles (kairos, Sismo Alerta, Sismo Frutal). Periódicamente se publican boletines agrometeorológicos y se genera información para la declaración de emergencias agropecuarias en los casos de eventos extremos como granizo, heladas, sequías e incendios.

Esta publicación titulada “Variabilidad Agroclimática en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén” es una herramienta estratégica para poner a disposición de productores, profesionales, técnicos, dirigentes, funcionarios y público en general las variables agrometeorológicas básicas para orientar la toma de decisiones, tanto a nivel predial como regional.

*Dr. Darío Fernández*

## PRESENTACIÓN

La producción agropecuaria es una actividad fuertemente ligada y dependiente del clima y, por ende, de la variabilidad climática. Desde hace algunas décadas existe consenso científico y técnico de que las condiciones climáticas están cambiando: aumentos de temperatura, modificaciones en los patrones de distribución de las precipitaciones e incremento de la frecuencia de ocurrencia de fenómenos climáticos extremos a nivel global y local (TCNCC, 2015). Las pérdidas económicas y el efecto ambiental y socio productivo de esta variabilidad son relevantes en el desarrollo productivo de nuestra región. Cabe mencionar que a nivel productivo la fluctuación interanual de estas variables afecta hasta en un 80 % la respuesta de los cultivos en términos de calidad y cantidad de producción.

La Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle de INTA cuenta desde hace tres años con una base de registros meteorológicos de diferentes puntos de la región de Patagonia Norte. Este es el producto de una red de estaciones agrometeorológicas automáticas de entidades públicas y privadas. De esta manera, se logra monitorear y registrar en forma continua la variabilidad térmica y pluviométrica espacial, permitiendo mayor precisión en la toma de decisiones. En la estación meteorológica ubicada en la localidad de Allen (Clte. Guerrico) 39° 01' de latitud sur y 67° 40' de longitud oeste, a una altitud de 242m snm se dispone de registros continuos y validados de los últimos 49 años. Con esta información se ha estudiado el cambio de temperatura y precipitaciones (lluvia y granizo), se investiga la respuesta de los cultivos frutales y la adaptabilidad de otros sistemas productivos a estas variables. El registro, procesamiento y análisis de los datos meteorológicos locales permite desarrollar y difundir índices bioclimáticos (horas de frío, velocidad de crecimiento de los frutos, temperaturas críticas de daño por heladas, etc.) y alertas sanitarias asociadas a la respuesta de las principales plagas y enfermedades.

Ante la pregunta *¿cuál es el riesgo de nuestro sistema productivo frente al cambio climático?*, se depende de tres factores: amenaza, exposición y vulnerabilidad. La amenaza existe y estamos evaluando su magnitud a través del estudio de las condiciones meteorológicas. La exposición es inevitable en un cultivo intensivo a cielo abierto como la fruticultura, los forrajes y la horticultura, entre otros. Sin embargo, la vulnerabilidad del sector productivo depende de su sensibilidad y capacidad adaptativa en términos de sostenibilidad económica y de la posibilidad de adquirir herramientas tecnológicas que ayuden a disminuir el impacto de la variabilidad climática.

El objetivo de esta publicación es brindar información al sector productivo que permita visualizar el escenario climático del valle en los últimos 50 años y mostrar los principales índices bioclimáticos para medir la respuesta de los cultivos en términos de calidad y rendimiento ante la variabilidad interanual de temperaturas y precipitaciones.

En el análisis consideraremos eventos extremos (percentiles 10 y 90), anomalías y valores medios, máximos y mínimos de las diferentes variables.

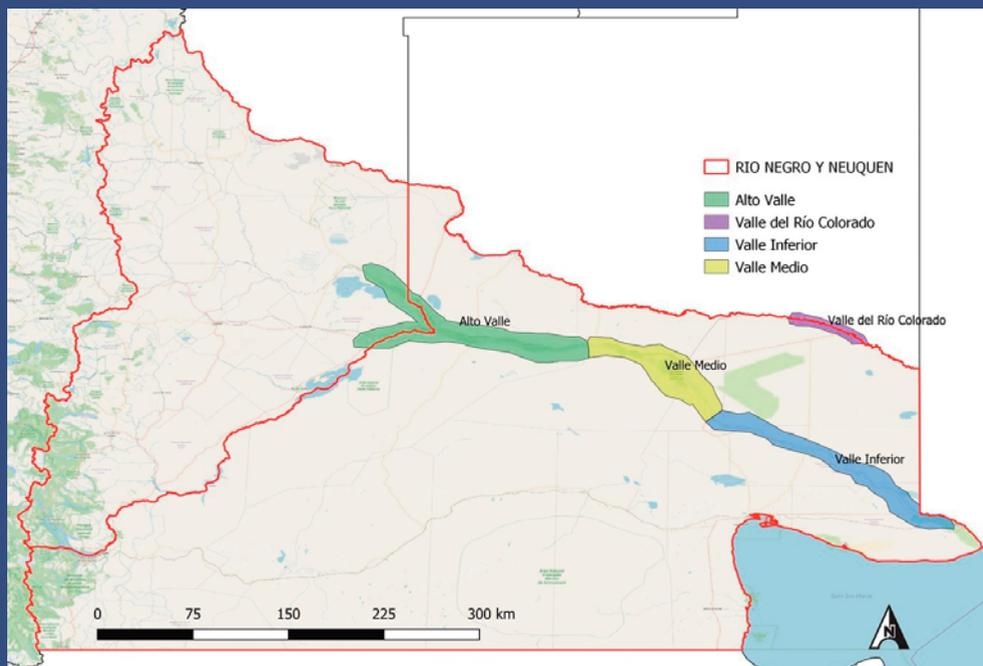


Figura 1. Ubicación geográfica del Alto Valle de Río Negro y Neuquén.

El Alto Valle de Río Negro y Neuquén está ubicado en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén inferior y Negro superior, está comprendido entre  $38^{\circ}40'$  y  $39^{\circ}20'$  de latitud Sur y entre los  $66^{\circ}50'$  a  $68^{\circ}20'$  de longitud Oeste. Los valores de altitud van de 400 a 200 metros sobre nivel del mar. Las menores alturas se registran hacia el este del valle.

Conforme a la latitud, las zonas climáticas se suceden del Polo al Ecuador, y el Alto Valle se encuentra dentro de la denominación *clima templado*. Se lo clasifica también de tipo mediterráneo, dado que las lluvias decaen en el verano y predominan en las estaciones más frías. Los índices de Thornthwaite clasifican a la zona como meso termal y semidesértica y, de acuerdo a las regiones climáticas determinadas a nivel global, cuenta con un clima seco desértico –fresco (Bwk). En este estudio se contará con registros locales precisos de precipitaciones y temperaturas que están enmarcadas dentro de estos conceptos de caracterización climática global.

The background of the page features a light beige topographic map with contour lines. A vertical bar on the right side is divided into a dark blue upper section and a red lower section. The word 'capítulo' is written in white lowercase letters on the blue section, and a large white number '1' is centered on the red section.

*capítulo*

# 1

## ANÁLISIS DE TEMPERATURAS

Los registros contemplados en este análisis corresponden a temperaturas de aire en abrigo meteorológico, a 1,5 metros de altura desde el suelo (normas OMM). La temperatura media anual para la zona es de 14,6 °C, con una amplitud térmica media anual de 15,7 °C. Los valores extremos de temperaturas se registran en el mes de enero y diciembre con un máximo de 40,9 °C y en los meses de mayo, junio, julio y agosto con un mínimo de -12,9 °C (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización térmica. Serie 1970-2019, Estación meteorológica de INTA Alto Valle.

Variable	Unidad	Serie	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temperatura media de aire	°C	1970-2019	23,1	21,7	18,3	13,4	9,6	6,6	6,1	8,5	11,6	15,5	19,1	22,0
Temperatura mínima media de aire	°C	1970-2019	13,4	12,3	9,6	5,5	2,5	0,2	-0,7	0,8	3,3	6,8	9,7	12,3
Temperatura mínima absoluta	°C	1970-2019	1,8	1,3	-2,3	-7,0	-10,1	-10,5	-12,9	-11,0	-7,9	-4,5	-3,0	-0,3
Temperatura máxima media de aire	°C	1970-2019	30,7	29,5	26,3	21,6	16,9	13,4	13,4	16,3	19,4	22,8	26,4	29,3
Temperatura máxima absoluta	°C	1970-2019	40,9	40,0	38,5	34,9	31,3	29,2	27,3	30,9	33,7	39,1	39,6	40,5
Amplitud Térmica	°C	1970-2019	17,3	17,1	16,3	16,0	14,1	12,9	13,9	15,1	15,8	16,1	16,7	16,5

## 1.1. RÉGIMEN TÉRMICO ANUAL

El régimen anual de temperaturas (Figura 2) acusa valores mínimos en el trimestre invernal (junio-julio-agosto) con mínimas cercanas al cero grado, medias entre 5 y 7 °C y valores máximos alrededor de los 15 °C. En primavera y otoño las mínimas son similares y oscilan entre 3 y 10 °C, los valores medios de 10 a 20 °C y los máximos, un poco menores en otoño de 15 a 25 °C, y de 20 a 25 °C en primavera. El trimestre estival registra valores mínimos medios de 12 °C, temperaturas medias de 20 a 22 °C y máximas medias de 30 °C.

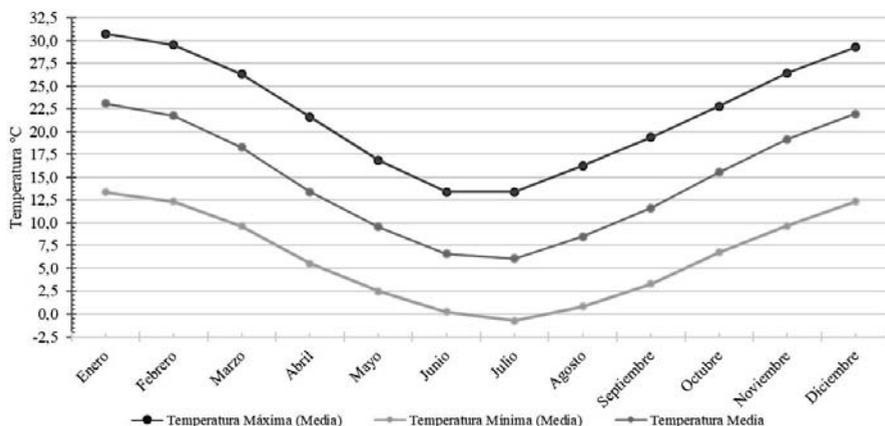


Figura 2. Régimen anual de la temperatura de aire, valores medios, mínimos medios y máximos medios mensuales, serie 1971-2019

## 1.2. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MEDIA DE AIRE

Del análisis de variabilidad de las temperaturas medias de aire en los últimos 50 años se visualizan periodos cálidos y fríos marcados (Figura 3). Las anomalías positivas se manifiestan durante la década de los noventa con incrementos por encima de la media histórica de hasta 1,5 °C. Los periodos anteriores, década del 70 y 80, y después del 2005, manifiestan anomalías negativas mayormente cercanas a 1 °C por debajo del valor medio histórico. En estudios de cambio climático a nivel mundial se ha manifestado el mismo comportamiento térmico en la década de los noventa, por ejemplo, en España y Alemania (Chmielewski *et al.*, 2004; Dapena de la Fuente y Ceballos Fernández, 2006).

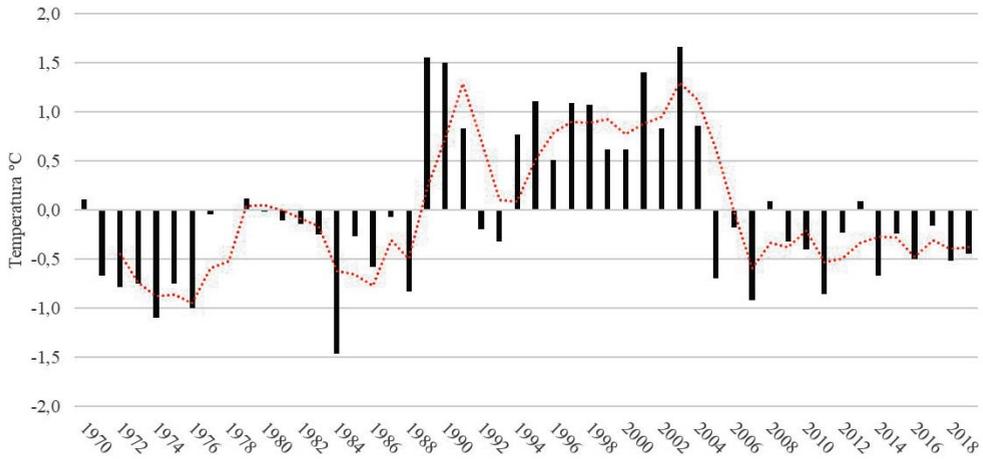


Figura 3. Variabilidad interanual de la temperatura media de aire, anomalías serie 1970-2019

## 1.3. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DE AIRE

A través del análisis de anomalías (Figura 4), se observa una variabilidad interanual marcada de la temperatura máxima media hasta el año 2000, con algunos eventos extremos destacados como en el año 1984 con temperaturas máximas medias anuales 2 °C menores a la media histórica. Este comportamiento responde a un periodo muy frío en el trimestre invernal de ese año. Hasta fines de los noventa la variabilidad media oscilaba entre 1 y 1,5 °C por encima y por debajo del valor medio histórico. Después del año 2000 la variabilidad interanual disminuyó y se mantuvo por debajo de +/-1 °C. Estos comportamientos marcan tendencia positiva poco significativa ( $r^2 = 0,10$ ) de aumento en las temperaturas máximas medias para el periodo 1970-2019.



Figura 4. Variabilidad interanual de la temperatura máxima media de aire, anomalías serie 1970-2019

#### 1.4. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DE AIRE

La temperatura mínima media manifiesta periodos claros de anomalías positivas (1980-87) y anomalías negativas (1988-96/2007-19). La variabilidad con respecto al valor medio histórico en general no supera +/- 1°C (figura 5). No hay tendencia significativa de disminución de la temperatura mínima media ( $r^2=0,07$ ) para el periodo 1970-2019.

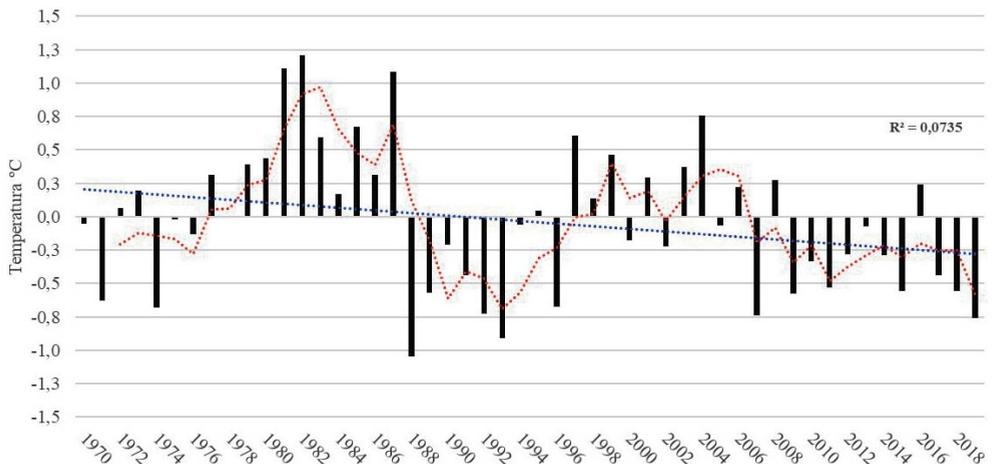


Figura 5. Variabilidad interanual de la temperatura mínima media de aire, anomalías serie 1970-2019

## 1.5. VARIABILIDAD DE TEMPERATURAS ABSOLUTAS

Las temperaturas máximas absolutas se encuentran entre los 36° y 41°C; la recta de tendencia muestra un aumento ( $r^2=0.17$ ). El rango de temperaturas mínimas absolutas es de -12,9°C a 0,1°C. La tendencia no es significativa ( $r^2=0.02$ ). La variación de la amplitud térmica en los últimos 50 años es positiva, de 1,07°C, debido al incremento de las temperaturas máximas absolutas (Figura 6).

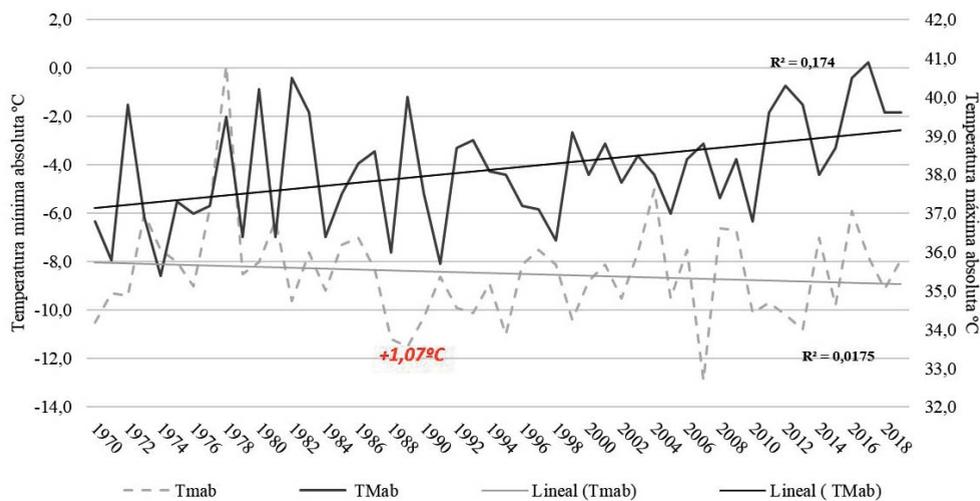


Figura 6. Recta de tendencia de máximas y mínimas absolutas; valor de la diferencia entre la amplitud inicial y final

## 1.6. VARIABILIDAD TÉRMICA ESTACIONAL

No se observan tendencias de cambio en las temperaturas medias de ninguna de las cuatro estaciones. El trimestre invernal presenta una variabilidad interanual importante, con años fríos con anomalías negativas de hasta 2,5 °C respecto a la media, como en 1984, y años cálidos con anomalías por encima de la media de 2 °C en 1990 (Figura 7).

En el trimestre primaveral se visualizan tres períodos muy marcados. Los comprendidos entre 1970-1990 y 2005-2019 presentan anomalías negativas, es decir que las temperaturas resultaron menores a las normales, fueron años relativamente frescos con algunos casos más notorios, por ejemplo, el año 2011. En tanto que el período 1991-2004 se caracteriza por anomalías positivas. A nivel mundial se detectaron aumentos de temperatura de aire durante estos años, como se explicó anteriormente, pero cabe destacar que regionalmente la primavera manifiesta claramente este comportamiento (Figura 8).

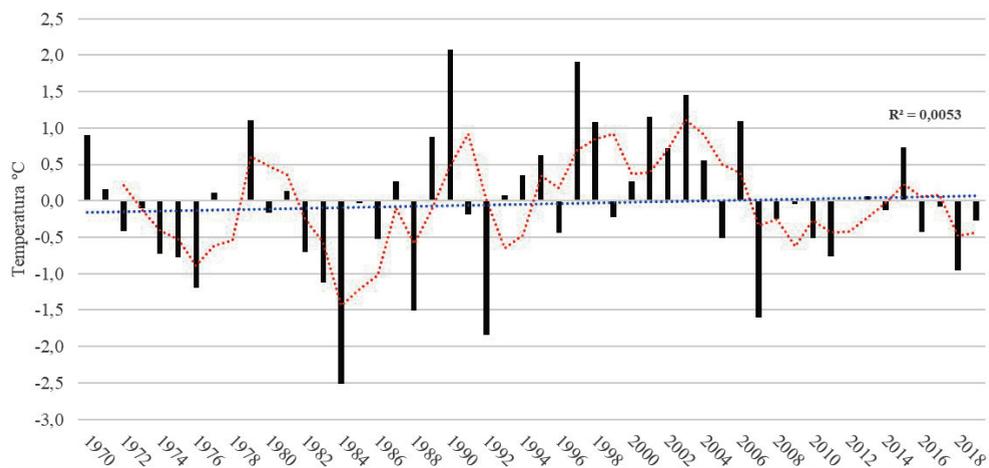


Figura 7. Comportamiento térmico interanual del trimestre invernal (junio-julio-agosto), anomalías de temperaturas medias, serie 1970-2019

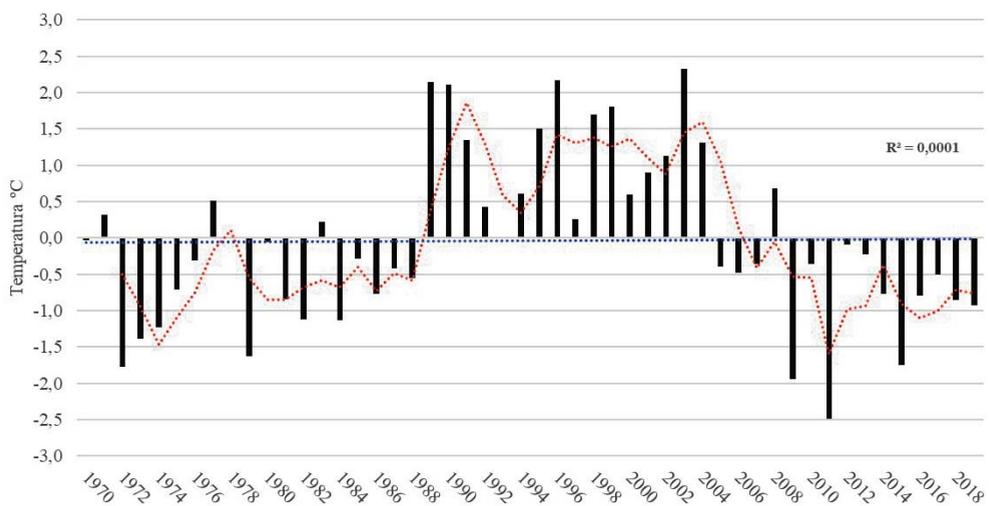


Figura 8. Comportamiento térmico del trimestre primaveral (septiembre, octubre, noviembre), anomalías de temperaturas medias, serie 1970-2019

El trimestre estival presenta un comportamiento térmico similar al de primavera, excepto por los últimos 14 años en donde la variabilidad fue muy baja y se registraron temperaturas muy similares a la media histórica (Figura 9).

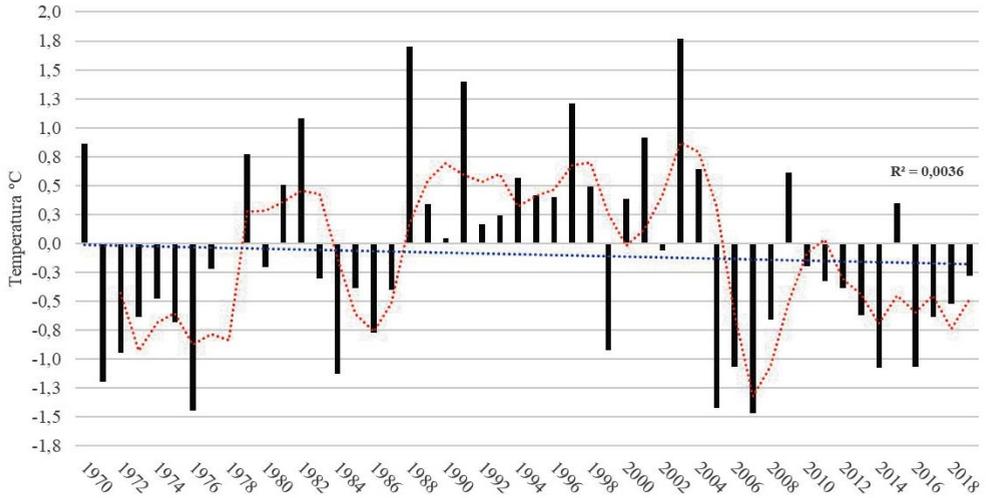


Figura 9. Comportamiento térmico del trimestre estival (diciembre, enero, febrero), anomalías de temperaturas medias, serie 1970-2019

El otoño presenta mayor variabilidad que las dos estaciones anteriores; la década de 1970 con anomalías negativas y un periodo variable en la década de 1980. Sin embargo, sigue identificándose como periodo cálido entre 1991-2004. Desde el 2005 en adelante predominan los otoños frescos con anomalías negativas a excepción del 2009 y 2015 que están muy próximos a la media (Figura 10).

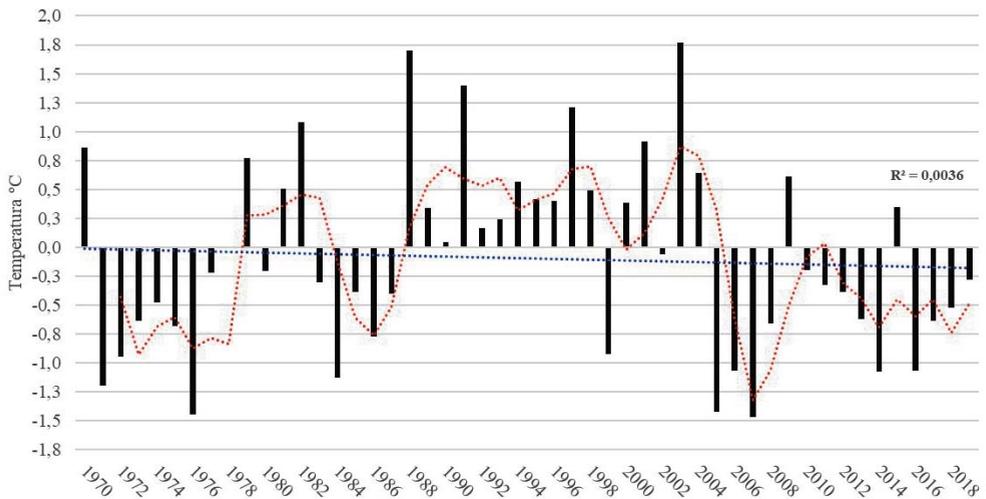


Figura 10. Comportamiento térmico del trimestre otoñal (marzo, abril, mayo), anomalías de temperaturas medias, serie 1970-2019

En cuanto a las temperaturas máximas medias observamos una variabilidad interanual significativa. En el trimestre invernal la variabilidad máxima es de +/- 3°C; en otoño, primavera y verano es de +/-2°C (Figuras 11 y 12). Solo en el trimestre estival se manifiesta una tendencia de aumento significativa ( $r^2= 0.21$ ).

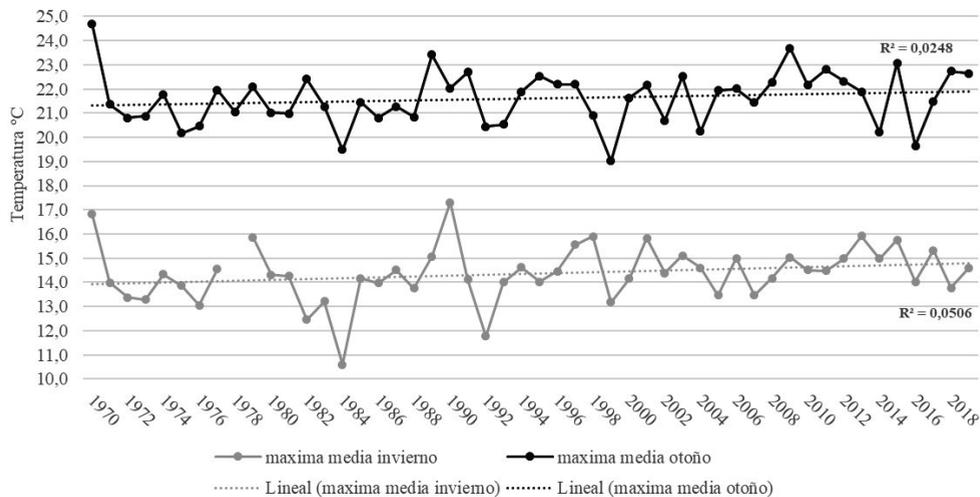


Figura 11. Comportamiento térmico interanual del trimestre invernal (junio-julio-agosto) y otoñal (marzo-abril-mayo) de temperaturas máximas medias, serie 1970-2019

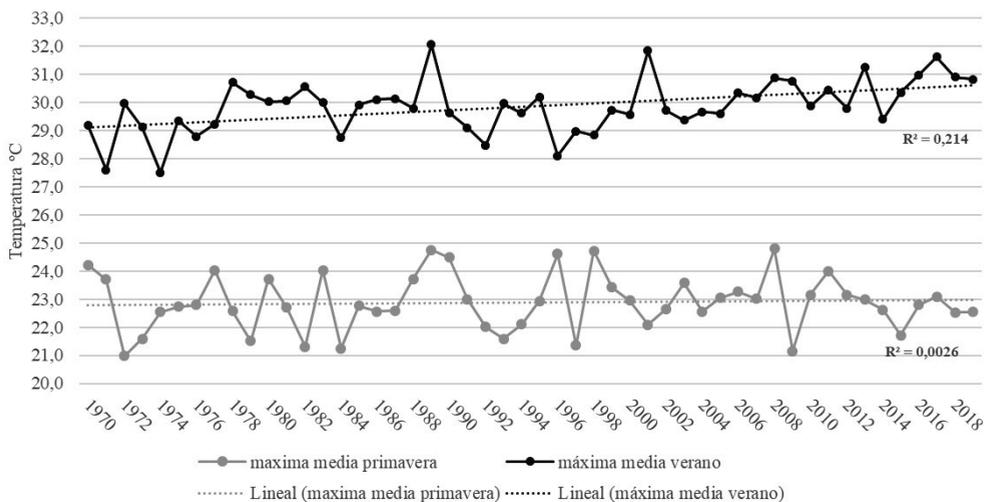


Figura 12. Comportamiento térmico interanual del trimestre primaveral (septiembre-octubre-noviembre) y estival (diciembre-enero-febrero) de temperaturas máximas medias, serie 1970-2019

En otoño los valores medios de las temperaturas mínimas se incrementaron desde 1980 a 1985 y disminuyeron desde el 2006 hasta 2019 levemente (Figura 13). En primavera, verano e invierno hay variabilidad interanual pero la media móvil no indica períodos con un comportamiento diferencial como en el otoño (Figura 14). No se manifiestan tendencias de cambio.

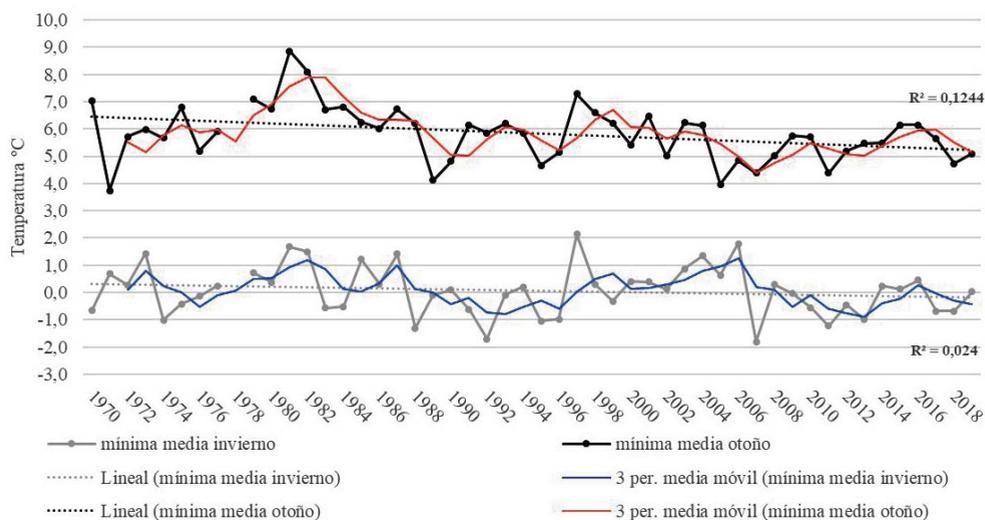


Figura 13. Comportamiento térmico interanual del trimestre invernal (junio-julio-agosto) y otoñal (marzo-abril-mayo) de temperaturas mínimas medias, serie 1970-2019

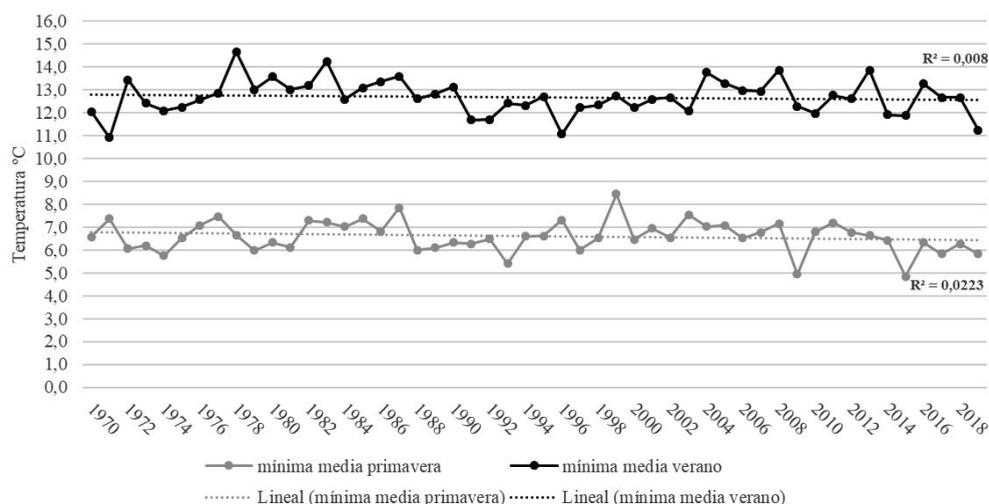


Figura 14. Comportamiento térmico interanual del trimestre primaveral (septiembre-octubre-noviembre) y estival (diciembre-enero-febrero) de temperaturas mínimas medias, serie 1970-2019

## 1.7. RÉGIMEN DE HELADAS

Se define a una helada como una contingencia agrícola que ocurre cuando la temperatura del aire desciende a temperaturas tan bajas que producen la muerte del tejido vegetal. El estudio agroclimático aquí presentado considera, por un lado, el análisis meteorológico, ocurrencia de temperaturas menores a 0°C en abrigo meteorológico a 1,5 metros de altura sobre el suelo; y por otro, el efecto biológico ocasionado dentro de los parámetros útiles para la producción frutícola local.

El periodo libre de heladas medio para la zona es de 190 días. Los valores extremos están por debajo de 157 días (años 1971, 1979, 2005 y 2013) y por encima de 217 días (años 1970, 1984, 1986, 1987) (Tabla 2).

Tabla 2. Período libre de heladas y fechas de la primera y última helada

	Fecha Media 1970-2019	Desvío estándar	Evento extremo
Período libre de Heladas	190 días	+/- 23 días	
Primera Helada	14 de abril	+/- 16 días	13 marzo
Última Helada	6 de octubre	+/- 16 días	17 noviembre

La fecha media de ocurrencia de la primera helada es el 14 de abril. Se han registrado eventos extremos con heladas muy temprano, antes del 25 de marzo en los años 1976, 2005, 2013, 2015, 2018. Estos eventos generan daños productivos, principalmente en vid. Por el contrario, en los años 1970, 1981, 1986, 1987 y 1991 la fecha de la primera helada se registró luego del 2 de mayo (Figura 15).

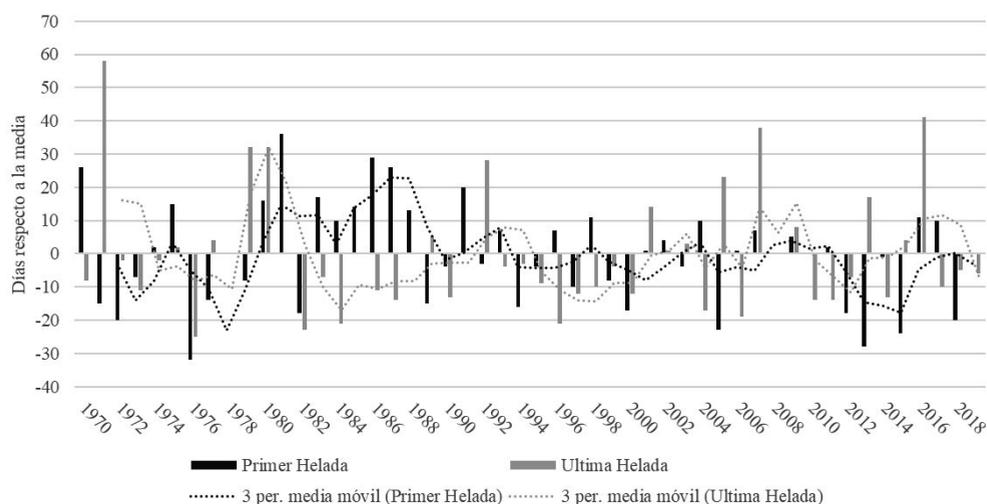


Figura 15. Variabilidad interanual de fecha de ocurrencia de la primera y última helada, 1970-2019. Los valores negativos indican días antes de la fecha media y los positivos días después de la fecha media

En cuanto a la última helada, la fecha media de ocurrencia es el 6 de octubre. Eventos extremos acontecieron en los años 1979, 1980, 2007 y 2016 con heladas ocurridas después del 5 de noviembre. Los años 1976, 1982, 1984, 1996, 2004, 2006 han tenido primaveras muy benignas, finalizando el periodo de heladas antes del 20 de septiembre (Figura 15).

La frecuencia anual media de heladas en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén es de 67,5 días (Tabla 1). En el trimestre invernal los frutales están en estado de reposo o endodormancia durante junio y julio, pero en agosto comienza el proceso de desaclimatización y una creciente actividad metabólica que conlleva a un paulatino desarrollo fenológico. Los ciruelos, duraznos y almendros se encuentran con mayor avance en el desarrollo fenológico en ese momento y, por ende, con mayor sensibilidad al daño por heladas. El 12% del total de las heladas anuales corresponde a las tardías, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre (Tabla 3). Estas heladas son menos frecuentes que las invernales y otoñales, pero de mayor interés agronómico dado que los daños físicos y económicos son muy importantes, disminuyendo notablemente el rendimiento potencial y retardando la entrada en producción de los frutales cultivados en la región.

Tabla 3. Caracterización de heladas por intensidad. Frecuencia mensual media de heladas

Frecuencia de Heladas 1970-2019	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Frecuencia de Heladas 1970-2019	0,3	2,0	4,3	5,8	6,1	5,8	3,7	0,9	0,1	0,0
Moderadas (-2° a -3,9 °C)	0,0	0,7	3,0	4,5	5,9	4,2	1,8	0,1	0,0	0,0
Fuertes (-4° a -5,9 °C)	0,0	0,1	1,2	2,8	3,7	2,6	0,8	0,0	0,0	0,0
Muy Fuertes (-6° a -7,9 °C)	0,0	0,0	0,4	1,3	1,8	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0
Severas (-8° a -9,9 °C)	0,0	0,0	0,2	0,5	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Muy Severas (< -10 °C)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>0,3</b>	<b>2,8</b>	<b>9,2</b>	<b>14,9</b>	<b>18,3</b>	<b>14,1</b>	<b>6,6</b>	<b>1,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>

\*Los registros térmicos son tomados a 1,5 metros de altura en abrigo meteorológico (normas OMM). En condiciones de heladas, las temperaturas mínimas en el campo pueden ser hasta 1,3 °C inferiores de acuerdo a nuestros índices actinotérmicos.

La intensidad de las heladas es variable, registrándose temperaturas mínimas absolutas de -12,9 °C en el trimestre invernal y de -7,9 °C en el período primaveral, fundamentalmente en el mes de septiembre.

La duración de un evento de helada contempla el número de horas en que la temperatura del aire está por debajo de los 0 °C. El valor medio es de 4 horas, pero en algunos casos supera las 7 horas (Tabla 1). Un órgano frutal expuesto por más de media hora a su temperatura crítica de daño es afectado de forma irreversible.

### 1.7.1. Evaluación del Índice de Riesgo de Heladas en frutales

Los umbrales de daño por bajas temperaturas son diferentes para cada especie y variedad. El grado de tolerancia queda determinado principalmente por el desarrollo fenológico. Sin embargo, debemos tener en cuenta que en los frutales de hoja caduca hay un periodo no visible de actividad fisiológica hasta el desborre. En ese periodo post reposo invernal las temperaturas influyen en la velocidad de pérdida de tolerancia a las bajas temperaturas y pueden marcar diferencias significativas de tolerancia entre temporadas para una misma intensidad de helada (Rodríguez, A. *et al.*, 2018).

En términos generales, dada la mayor susceptibilidad de los tejidos en primavera, las heladas afectan flores y frutos pequeños (almendros, manzanos, perales, cerezos, durazneros, ciruelos y nectarinas), como así también el desarrollo de brotes en vid y yemas que portan las flores pistiladas en nogal. La frecuencia de heladas otoñales es menor al 4% entre marzo y abril y pueden provocar serios daños en tejidos jóvenes que aún no han agostado (vid, nogales jóvenes). En las tablas 4, 5 y 6 se pueden observar las temperaturas críticas y el porcentaje de daño asociado a las mismas para los principales frutales de la zona en relación a su estado de desarrollo.

Tabla 4. Respuesta de la madera de nogal joven a las heladas simuladas en estado vegetativo (marzo), inicio de reposo invernal (mayo) y pleno reposo invernal (julio). Índices locales; TNH: temperatura de nucleación del hielo, LT50: temperatura letal con un 50% de mortalidad

	Marzo	Mayo	Julio	p-valor
TNH (°C)	-5,3 b	-4,8 b	-6,5 a	0,0001
LT50 (°C)	-7,7	< -10	< -15	

\*Valores medios. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (se lee horizontal), Test de Tukey ( $\alpha > 0,05$ ).

Tabla 5. Temperaturas críticas correspondientes a los umbrales que provocan hasta un 10 % de daño letal en órganos reproductivos, (los valores expresados son promedios obtenidos de los trabajos de Ballard *et al.*, 1971 y Proebsting *et al.*, 1978 y mediciones locales en INTA). Exposición de 30 a 60 minutos en simulador de heladas

LT10/T crítica (°C)	Reposo invernal-yema dormida (A)	Pos reposo, inicio de desaclimatación-yema hinchada (B)	Pos reposo-desborre-puntas verdes-cáliz visible (C-D)	Pos reposo-inicio de desarrollo de inflorescencias y flores (E)	Antesis-plena floración (F)
Manzanas	-11,9 a -9,4	-5,6	-3,9 a -3,3	-2,7 a -2,3	-2,2*
Peras	-9,4 a -8,6	-7,3 a -3,9	-5,1 a -3	-3,2	-1,6 a -2,2*
Cerezos	-11 a -8,3	-2,8-1,8*	-3,1 a -2	-2,2	-2,2
Almendras			-3,8	-3,0	-2,0 a -2,7*
Ciruelas	-11 a -8,9	-5,4	-5,4 a -4	-3 a -2	-2 a -1
Duraznos	-7,4	-6,1	-4,8 a -4,1	-3,3 a -2,7	-3,5 a -2,7
Vid		-5		-2 a -1,5	-1,5 a -1

\*Valores determinados localmente; Manzana Gala, Pera Abate Fetel y B. D`Anjou, Cerezos Lapins, Sweet hearth, Royal Down y almendros Ferragnes, Felicia y Guara.

Tabla 6. Temperaturas críticas correspondientes a los umbrales que provocan hasta un 50 % de daño letal en órganos reproductivos, (los valores expresados son promedios obtenidos de los trabajos de Ballard *et al.*, 1971 y Proebsting *et al.*, 1978). Exposición de 30 a 60 minutos en simulador de heladas

LT50/T crítica (°C)	Reposo invernal-yema dormida (A)	Pos reposo, inicio de desaclimatación-yema hinchada (B)	Pos reposo-desbore-puntas verdes-cáliz visible (C-D)	Pos reposo-inicio de desarrollo de inflorescencias y flores (E)	Antesis-plena floración (F)
Manzanas	-15,1	-12 a -8,6	-6,1 a -4,4	-3,7	-3,7 a -3
Peras	-14,5	-9,3 a -7,3	-6 a -4	-4,8 a -3,5	-3,6 a -2,5
Cerezas	-14,3	-9 a -5,9	-4,2	-3,6	-3,2 a -2,7
Almendras	-6,5	-4,5	-4	-3	-3
Ciruelas	-14,8	-13,3 a -11,4	-8,9	-6,4 a -6,1	-4,5
Duraznos	-14,4	-11,7	-9,2	-6,1 a -4,3	-3,7
Vid	-14		-3,4	-2,2	-1,7

Tabla 7. Peligrosidad de heladas primaverales para Alto Valle durante el periodo de floración de frutales. Expresadas en probabilidad relativa de ocurrencia para cada periodo de tiempo (%), de acuerdo a la intensidad de las heladas (serie 1970-2019)

	Rangos probables de fechas de floración							
	Almendros, Ciruelos, Nectarines y Duraznos					Cerezas, Peras y Manzanas		
Probabilidad de heladas (%)	21-25/8	26-31/8	1-5/9	6-11/9	12-19/9	20-25/9	26/9-3/10	4-8/10
Suaves (0° a -1,9°C)	21,5	14,7	14,7	12,2	12,5	12,6	7,4	6,0
Moderadas (-2° a -3,9°C)	10,3	14,0	13,5	6,4	4,8	2,7	1,5	2,4
Fuertes y muy fuertes (Menores a -4°C)	7,8	6,8	9,8	5,1	3,0	1,0	0	0,4
Total	39,6	35,5	38,0	23,7	20,3	16,3	8,9	8,8

\*fechas medias de inicio y fin de floración de Guara (serie 1978-2014) según Iannamico, 2015.

\*fechas medias de inicio y fin de floración variedad Williams (serie 1971-2019).

\*fechas medias de inicio y fin de floración variedad Lapins (serie 2005-2019).

### 1.7.2. Variabilidad Interanual de Heladas

Si bien no hay una tendencia de cambio en el número de heladas primaverales (8 eventos, valor medio 1970-2019), se observan ciclos con mayor frecuencia tales como el periodo 1972-1982 y 1989-1995 (con hasta 12 heladas). Durante 2000-2013 la frecuencia disminuyó, excepto para el año 2009. Los últimos siete años manifiestan un incremento, destacándose el año 2015 con 14 heladas primaverales (Figura 16).

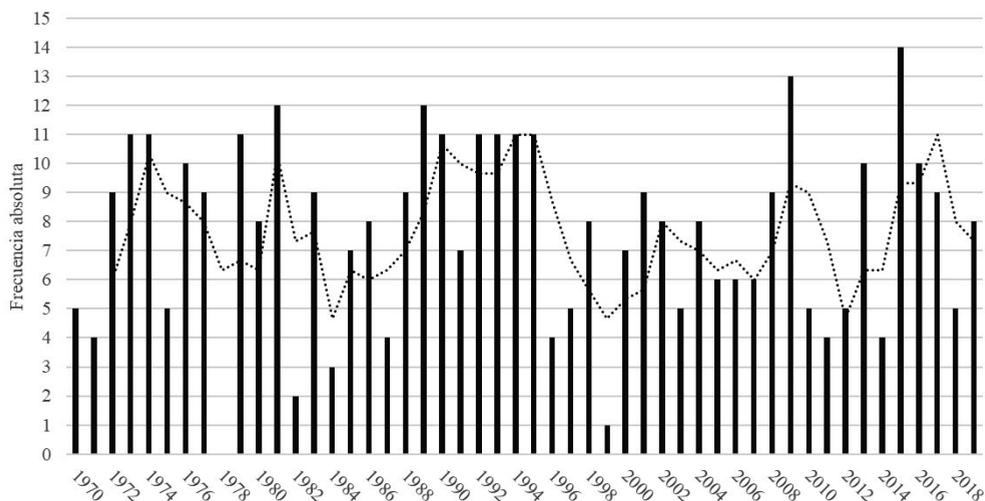


Figura 16. Variabilidad interanual de la frecuencia de heladas primaverales, 1970-2019

Como se observa en la Tabla 3, en las heladas de primavera las temperaturas más frecuentes están entre los  $0^{\circ}$  y  $-1,9^{\circ}\text{C}$  (categoría suaves). Las heladas con intensidades por debajo de los  $-2^{\circ}\text{C}$  (de moderadas a muy fuertes), si bien presentan menor frecuencia aumentan el riesgo de pérdidas de producción (afectan directamente el desarrollo de las flores, polinización y cuaje de frutos causando daños parciales o la muerte de dichos órganos y tejidos). La variabilidad de las mismas nos permite inferir la vulnerabilidad de los cultivos a futuro.

En los últimos 50 años en septiembre la frecuencia de heladas suaves y moderadas tiene un comportamiento variable, sin tendencias de cambio (Figuras 17 y 18). Para las heladas de fuertes a muy fuertes, las frecuencias más altas se registraron en la década del 70, sin embargo, no hay tendencia significativa de cambio (Figura 19).

En cuanto al mes de octubre, se visualiza a través del valor de media móvil un periodo entre los años 1987-1995 de incremento en frecuencia de heladas de la categoría suave (Figura 17). Existe muy baja frecuencia de heladas de mayor intensidad y se han registrado hasta inicios de la década de los 90 (Figuras 18 y 19).

Noviembre tiene muy baja frecuencia de heladas, con temperaturas de  $-1^{\circ}\text{C}$ , la pérdida de calidad es significativa, pero al mismo tiempo los sistemas de control son efectivos debido al menor déficit térmico. Los años 1979 y 1993 registraron heladas de  $-2^{\circ}\text{C}$  durante la primer quincena y en los años 1980 y 1992 la de mayor gravedad fue de  $-3^{\circ}\text{C}$  al 8 de noviembre. En los últimos 20 años solo se han registrado dos heladas en el mes de noviembre y han sido superiores a  $-1^{\circ}\text{C}$ , años 2007 y 2016.

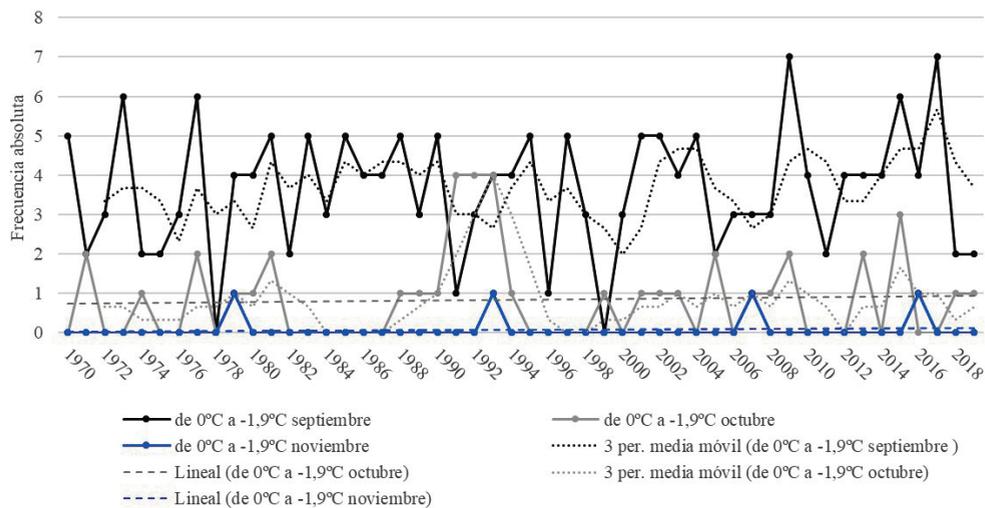


Figura 17. Variabilidad interanual de la frecuencia de heladas suaves (0°C a -1,9°C) en los meses de primavera, 1970-2019

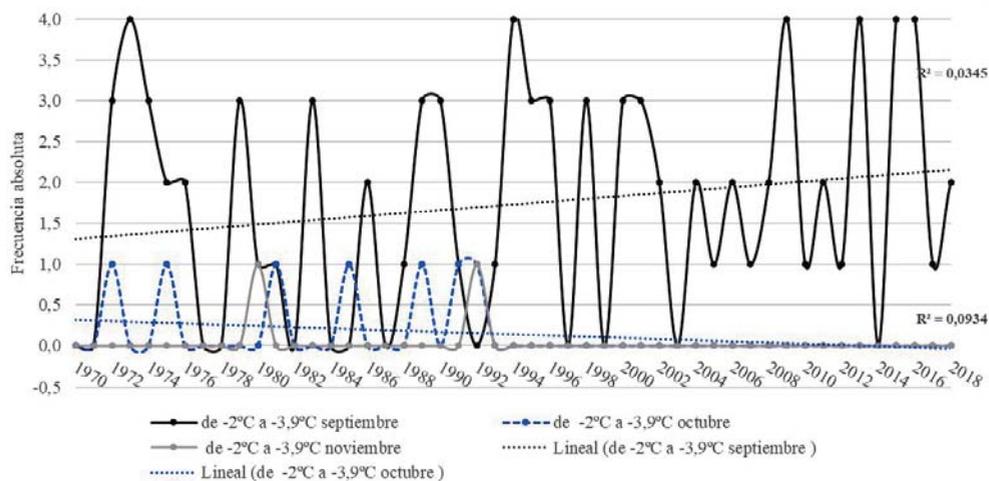


Figura 18. Variabilidad interanual de la frecuencia de heladas moderadas (-2°C a -3,9°C) en los meses de primavera, 1970-2019

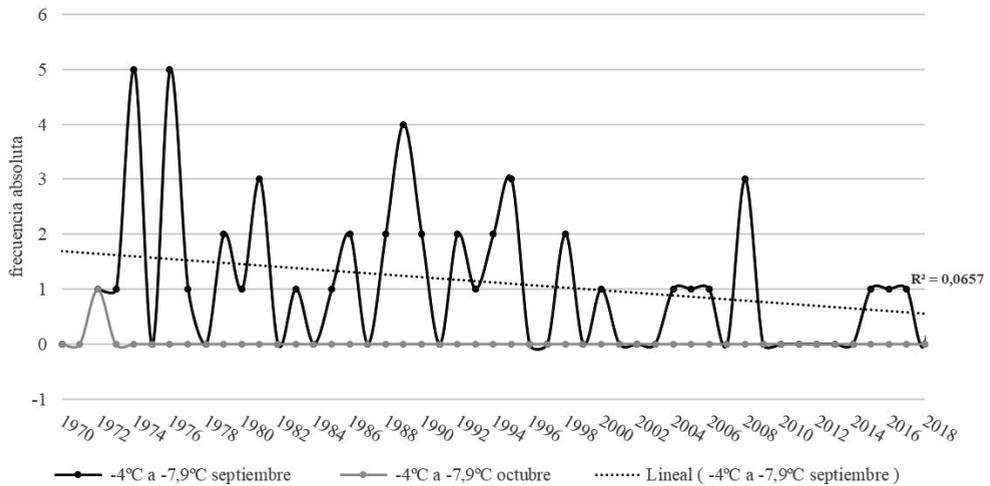


Figura 19. Variabilidad interanual de la frecuencia de heladas fuertes a muy fuertes (-4°C a -7,9°C) en los meses de primavera, 1970-2019

En síntesis, no se visualizan cambios en la frecuencia de heladas en ninguna de las categorías analizadas, pero queda manifiesta una importante variabilidad interanual.

La magnitud de pérdidas productivas por heladas depende de al menos cuatro factores (Figura 20). Dos regulados por condiciones climáticas (desaclimatización y ocurrencia de bajas temperaturas) y dos que tienen que ver con la infraestructura productiva (métodos de control y prácticas de manejo predial).

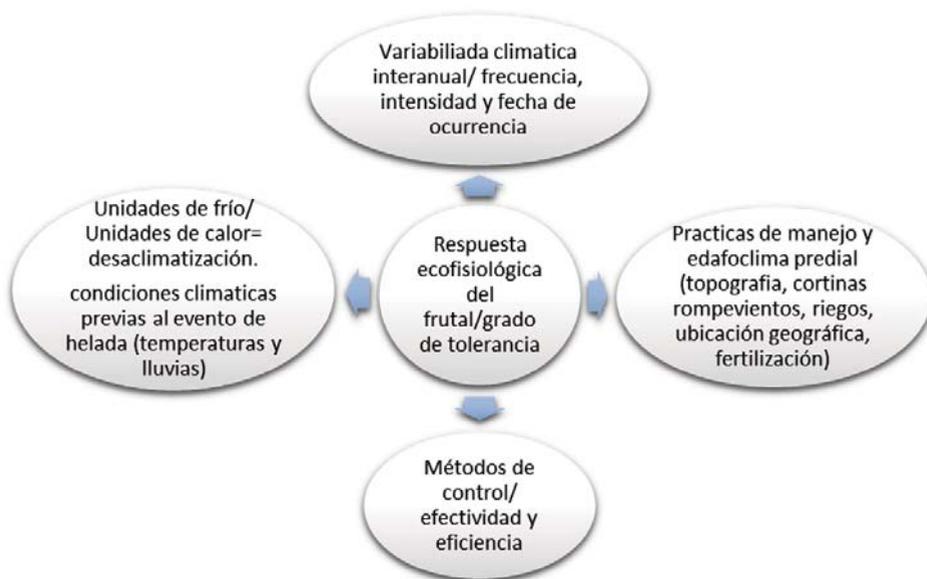


Figura 20. Esquema de abordaje integral del control de heladas en frutales de hoja cadúca

## 1.8. REQUERIMIENTO DE FRÍO INVERNAL

Fisiológicamente, luego de la caída de hojas, los frutales experimentan un aumento en los niveles de inhibidores hasta el estado pleno de reposo (endodormancia) y luego una progresiva disminución de los mismos y un aumento paulatino de promotores de crecimiento (Westwood, 1982; Druart *et al.*, 2007). Estas respuestas metabólicas están directamente relacionadas con la temperatura del aire. Las horas de frío constituyen el índice agrometeorológico utilizado tradicionalmente para cuantificar la duración de la fase de endodormancia (conocido comúnmente como reposo invernal), y expresa la cantidad de horas acumuladas con temperaturas del aire menores o iguales a 7°C. Otros modelos consideran efectividad relativa de las temperaturas, por ejemplo, de 2,5°C a 9,1°C se consideran los rangos óptimos para la acumulación de frío; temperaturas inferiores o superiores disminuyen el grado de efectividad. Localmente el comportamiento fenológico de los frutales de pepita se ajusta al primer método (T° base 7°C) y el comportamiento de los frutales de carozo se ajusta mejor con el índice de efectividad relativa (Rodríguez *et al.*, 2011, Rodríguez, A. y Muñoz, A., 2019). La fase de ecodormancia es consecutiva a la endodormancia y se cuantifica a través de un modelo de acumulación térmica (grados días), restándole a la temperatura media diaria un umbral de 7°C para frutales de pepita (Pascale y Damario, 2004; Campoy, 2011).

Localmente se han estimado los umbrales de referencia: horas de frío necesarias para completar la fase de endodormancia, y unidades de calor para llegar al estado fenológico de plena floración, de algunas de las variedades de peras y manzanas (Tabla 8).

Tabla 8. Requerimientos de frío y calor estimados para Peras y Manzanas en Alto Valle de Río Negro

Especie-variedad	Requerimiento de frío (desde 1° mayo) Horas de Frío, Temperatura base 7°C	Requerimiento calórico (hasta plena floración) Grados días, Temperatura base 7°C
<b>MANZANA</b>		
Red Delicious y clones	900	199 +-30
Gala y Clones	800	219 +-25
<b>PERA</b>		
William´s	1000	180 +-23
Packam´s	1000	157 +-23
Abate Fetel	900	160 +-23

### 1.8.1. Variabilidad Interanual de Acumulación de Frío

Comúnmente en nuestra región se ha considerado como periodo de reposo de mayo-agosto. En la Figura 21 hemos analizado el comportamiento de este índice. No se presenta tendencia de cambio en cuanto al total acumulado y el valor medio de horas de frío para Alto Valle es de 1419, con periodos de gran variabilidad en la década del 80 y 90. En estos mismos periodos se han registrado años con un comportamiento extremo, inviernos muy fríos como 1984, 1992 y el más reciente 2007. Los valores de acumulación mensual son parámetros importantes para darle seguimiento a cada temporada y se muestran en la Tabla 9. En este caso el percentil 10 nos indica el valor mínimo por debajo del cual se considera evento extremo por déficit de acumulación de frío.

Tabla 9. Valores de acumulación mensual y anual de horas de frío medias, máximas y mínimas, serie 1971-2019. Alto Valle

Horas de frío acumuladas, Temperatura base 7°C						
	Medias	Percentil 10*	Máximas	año	Mínimas	año
Mayo	265	197	414	2007	155	1998
Junio	392	312	582	1984	271	1997
Julio	437	358	583	1992	321	2006
Agosto	326	282	434	2007	227	2015
Total Mayo/Julio	1093	926	1432	1992	865	1988
Total Mayo/Agosto	1419	1205	1839	1992	1139	1979

\*P10, se lee: el 90 % de los años tienen una acumulación mayor al valor del percentil 10.

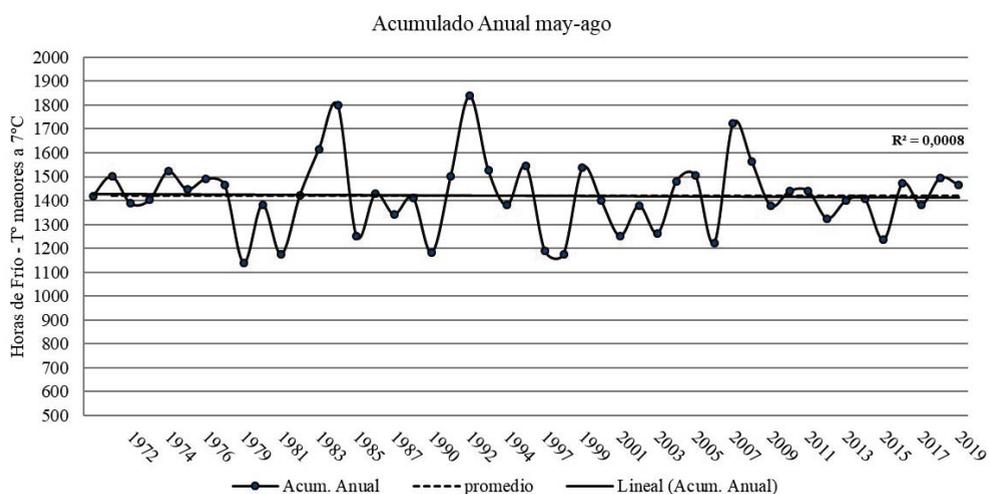


Figura 21. Variabilidad de la acumulación de horas de frío 1970-2019 (mayo-agosto)

Sin embargo, la respuesta fisiológica de los frutales de pepita y carozo a las temperaturas pre-brotación merece un análisis enfocado en un periodo crítico que ocurre desde mediados del mes de julio, es decir la interfase del proceso de desaclimatización. Los umbrales determinados regionalmente de requerimiento de frío se basan en esta respuesta fisiológica. En términos generales podemos afirmar que 1000 horas de frío es el umbral mínimo requerido por los frutales para un buen desarrollo fenológico. Como se observa en la Figura 22 existe una gran variabilidad en las fechas hasta el año 2008, luego se ha mantenido muy cercana al valor medio.

Los años extremos son aquellos que han cubierto el requerimiento antes del 15 de julio (P10) y después del 8 de agosto (P90). Los años con inviernos muy fríos (por debajo del P10), principalmente en el mes de junio, representan al 16% del total de años analizados, y los años con inviernos cálidos representan el 12% del total (por encima del P90).

La respuesta de los frutales a la variabilidad térmica interanual es muy compleja; sin embargo, el momento en que se cumple el requerimiento de frío explica entre un 67% y 89% la respuesta fenológica (Rodríguez, A., *et al.*, 2020). Por ello el estudio del comportamiento de las horas de frío en los últimos 50 años, nos permite evaluar la vulnerabilidad de los frutales de pepita en cuanto al momento de floración y posterior desarrollo del ciclo productivo.

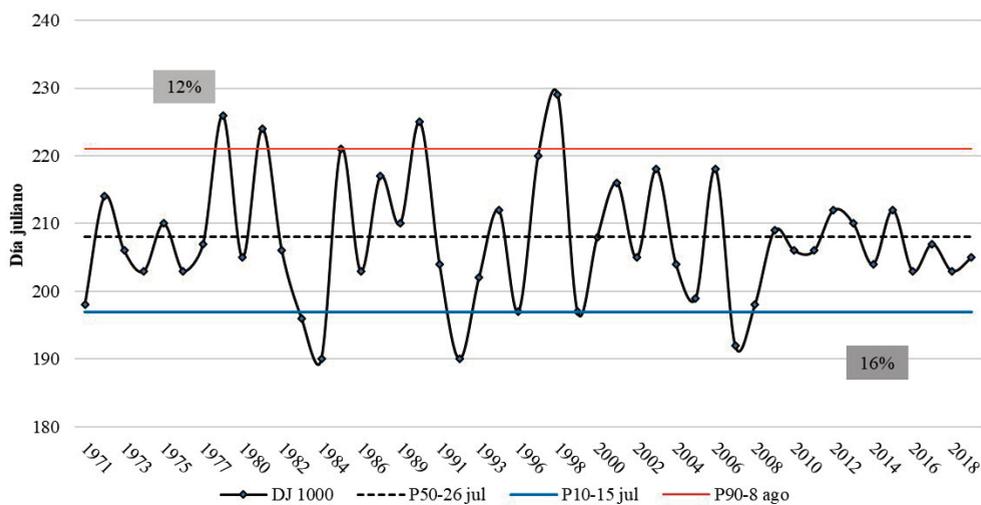


Figura 22. Variabilidad en la fecha de ocurrencia de las 1000 horas de frío

Localmente hemos trabajado también los últimos 15 años en el análisis de unidades de frío (UF) y elaboramos curvas referenciales para el monitoreo anual de acumulación de frío (Figura 23). En ellas pueden observarse las curvas extremas (P10=deficiencia y P90=exceso) y la curva media de acumulación. Como ejemplo de deficiencia en frío se puede observar en la figura el comportamiento del año 2013 que tuvo como consecuencia un atraso importante en las fechas de floración, y en contraejemplo el año 2016, un invierno frío, con acumulación de frío rápida y un adelanto muy importante en las fechas de floración (> a diez días respecto a la fecha media). El umbral de unidades de frío requerido varía en función de la especie y variedad, sin embargo, podemos decir que peras y manzanas tienen un requerimiento de 900 a 950 UF, cerezas 850-900 UF, duraznos y nectarinas 800-850 UF, almendros y ciruelas 500-550 UF.

Las UF son un buen índice agro meteorológico que, analizado conjuntamente con el pronóstico a corto plazo, permite estimar atrasos o adelantos en la floración de frutales tales como duraznos, ciruelas y almendros. Esto permite una intervención tecnológica oportuna de ser necesaria. Los frutales de floración temprana tienen alto índice de riesgo de heladas. Un adelanto en la fecha de floración incrementa el riesgo, dado que aumenta la probabilidad de heladas y disminuye la tolerancia de los órganos a las bajas temperaturas (Tabla 7).

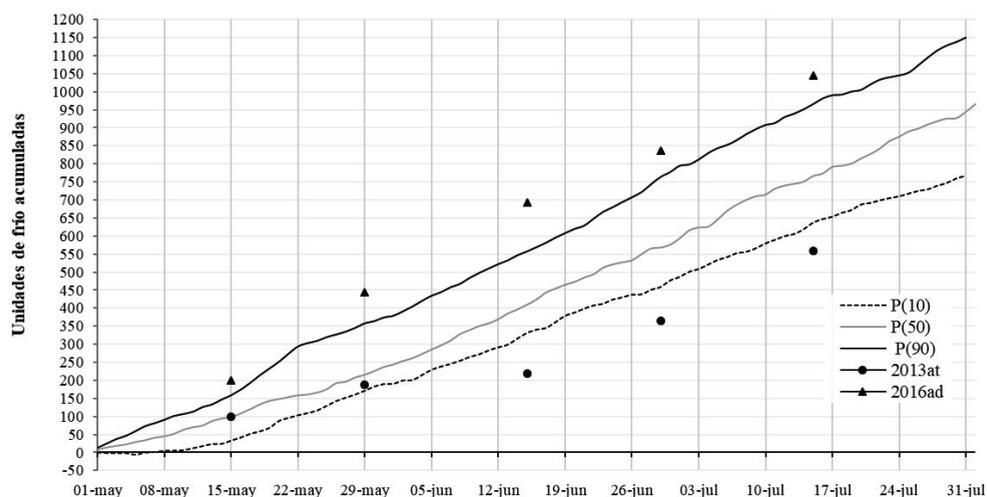


Figura 23. Curva media de acumulación de unidades de frío (UTHA), serie 2004-2019

La implementación de agro TICs y el uso asertivo de índices agrometeorológicos, tales como las unidades de frío y calor, permiten planificar las intervenciones tecnológicas a corto y largo plazo para mitigar el efecto climático sobre la producción (elección de variedades con requerimientos de frío acordes, aplicación de reguladores de crecimiento, etc.).

## 1.9 VARIABILIDAD ESPACIAL DE TEMPERATURAS

La distribución regional de temperaturas de aire no acusa grandes diferencias en los valores medios, visualizándose un leve incremento de oeste a este. Si contemplamos los valores medios de temperatura máxima y mínima solo observamos un incremento de estas últimas hacia el este de la región (Tabla 10), este comportamiento está principalmente basado en el incremento de la humedad.

Tabla 10. Valores de acumulación mensual y anual de horas de frío medias, máximas y mínimas, serie 1971-2019. Alto Valle

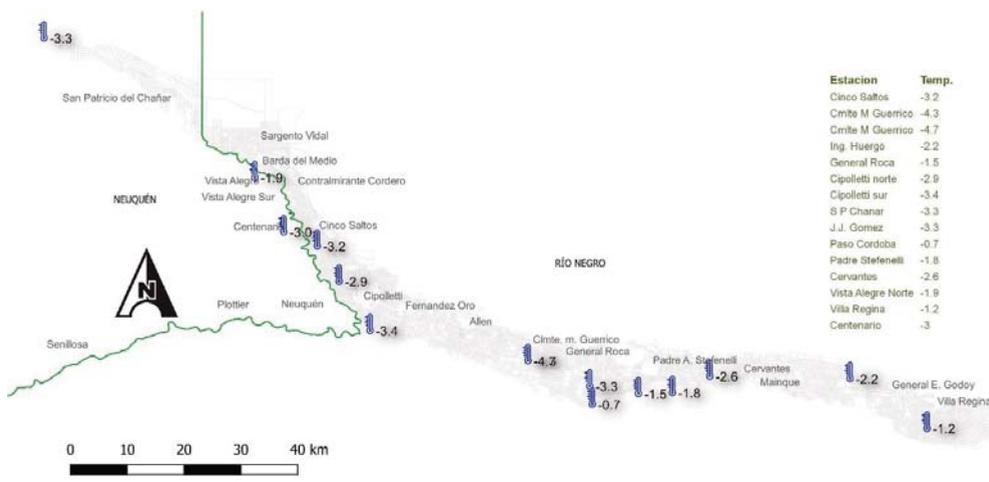
Variables	AV	VM	RC
Temperatura media (°C)	14,6	15,3	15,8
Temperatura Máxima media (°C)	22,2	22,5	23,2
Temperatura Mínima media (°C)	6,3	7,9	8,6

Es posible visualizar la respuesta de los cultivos, plagas y enfermedades a los factores meteorológicos a través de índices bioclimáticos específicos utilizados comúnmente como sistema de alerta para la toma de decisiones. Además de existir variabilidad

interanual en estos índices (Anexo 1: Carpogrados), la importancia de la variabilidad térmica espacial radica en la posibilidad de intervención para un manejo agronómico eficiente. A modo de ejemplo en los mapas (1-2-3-4-5) que se muestran a continuación, observamos la distribución espacial de algunas variables térmicas e índices asociados relevantes en nuestra zona, elaborados y difundidos por el INTA Alto Valle. Esta distribución regional es posible gracias a la red de estaciones meteorológicas automáticas pertenecientes a productores, empresas, organizaciones del ámbito público y privado e INTA. Actualmente se trabaja sobre la validación de información satelital y su correspondencia con información de sensores terrenos para darle continuidad al análisis geoespacial de las variables climáticas asociadas a la producción regional.



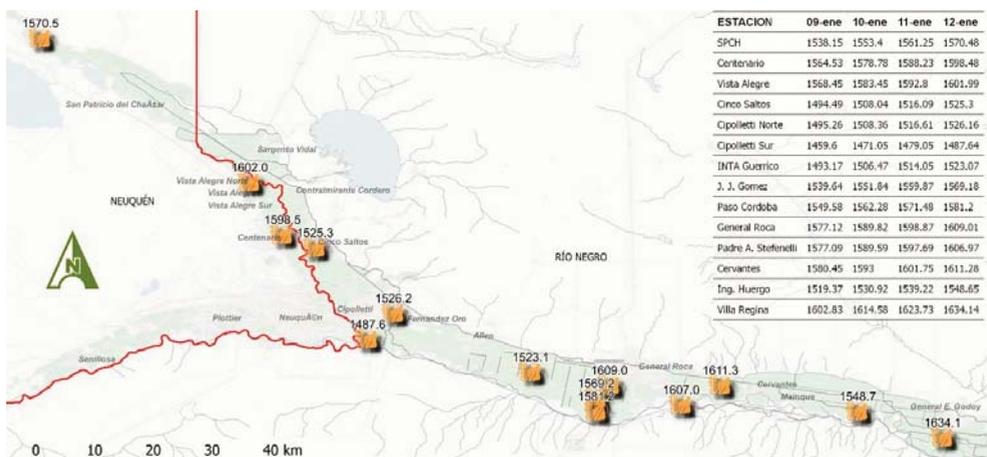
Mapa 1. Variabilidad regional en Alto Valle del índice de acumulación de frío. Temporada 2020-2021 (08 de julio de 2020)



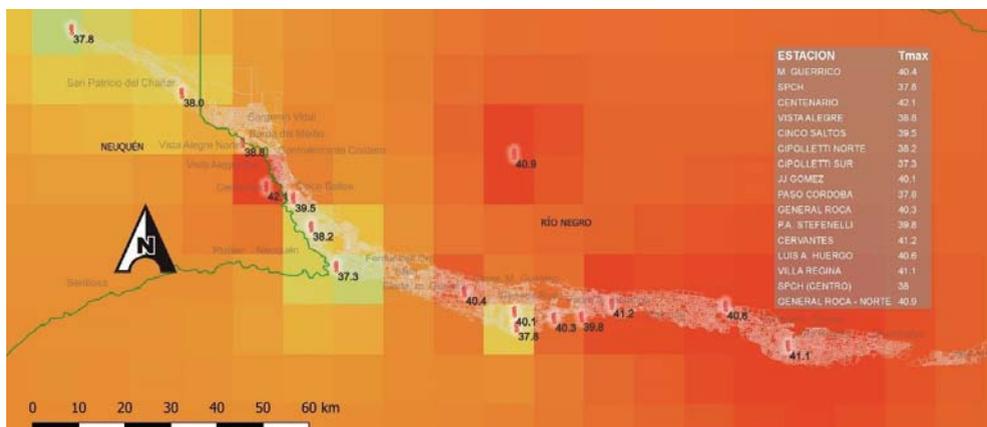
Mapa 2. Variabilidad regional de helada en Alto Valle. Temperatura mínima 31 de agosto de 2020



Mapa 3. Variabilidad regional de carpogrados, índice bioclimático para la plaga *Cydia pomonella*, en Alto Valle (12 de enero de 2021)



Mapa 4. Variabilidad regional de grafogrados, índice bioclimático para la plaga *Grafolita molesta*, en Alto Valle (12 de enero de 2021)



Mapa 5. Variabilidad regional de temperaturas máximas, ola de calor enero 2021 en Alto Valle (22 de enero de 2021)

The background of the page features a light beige topographic map with faint contour lines. A vertical bar on the right side is divided into a dark blue upper section and a red lower section.

*capítulo*

# 2

## ANÁLISIS DE RADIACIÓN SOLAR

“La radiación solar es fundamental para todos los procesos físicos y biológicos que ocurren en la biosfera” (Pascale & Damario, 2004). Los cultivos responden a la luz solar recibida a través del proceso de formación de materia seca (fotosíntesis) y ante efectos reguladores como la longitud del día y fotoperiodo.

Valores de energía solar mayores a 12 Mj/cm<sup>2</sup>/día, indican condiciones de cielo despejado y valores menores diferentes grados de nubosidad. El número medio anual de días totalmente nublados en Alto Valle es de 73 (20 %) y se registran 157 días de radiación plena, principalmente durante el trimestre estival. El mes de diciembre registra los valores medios más altos de radiación solar, luego enero, noviembre y febrero. Los valores extremos en el periodo analizado fueron en el mes de enero y diciembre con 31 Mj/día (Figura 24).

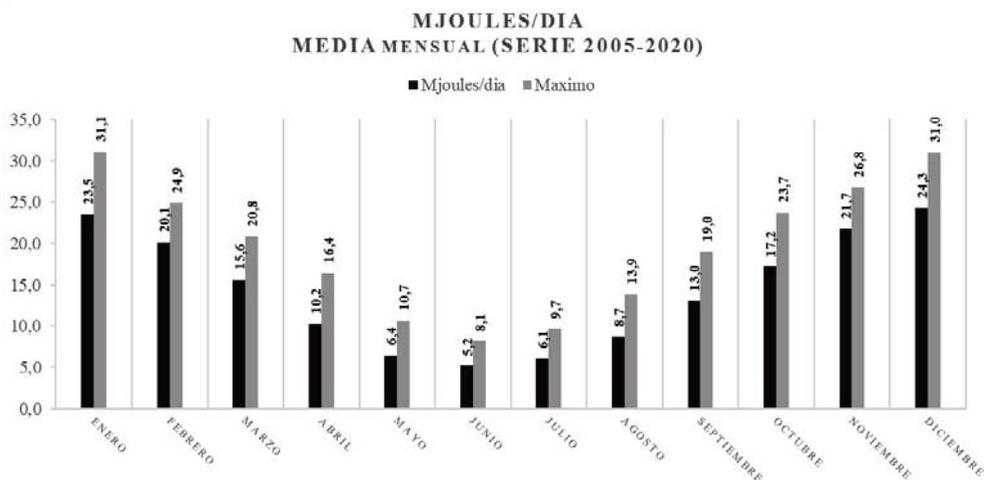


Figura 24. Radiación media mensual y valores máximos registrados en el periodo 2005-2020.

\*mjoulés/día= (watts/m<sup>2</sup> acumulado día \*3600)/1000000

Muchos cultivos anuales tienen determinadas exigencias de fotoperiodo para un óptimo desarrollo productivo. Si bien en la región los frutales de hoja caduca ven satisfechos sus requerimientos foto periódicos, hay cultivos como la vid, en variedades para vinificar, en las cuales existe incidencia sobre la madurez de las bayas (Gallina *et al.*, 2005). Por otro lado, el fotoperiodo regula el desarrollo de algunas plagas tales como carpocapsa (*Cydia pomonella*).

La mayor duración del día se da en diciembre con 14 horas 54 minutos y enero con 14 horas 37 minutos. Los días más cortos en junio con 9 horas 26 minutos. La duración del fotoperiodo se obtiene al sumar a la duración del día, el tiempo de duración del crepúsculo civil matutino y vespertino (Tabla 11).

Tabla 11. Duración del día y fotoperiodo para Alto Valle

	Duración del día (horas: minutos)	Crepúsculo civil (matutino más vespertino, horas: minutos)	Fotoperiodo (horas: minutos)
Enero	14:37	1:02	15:39
Febrero	13:24	0:56	14:20
Marzo	12:20	0:58	13:19
Abril	11:02	0:54	11:56
Mayo	9:59	0:58	10:57
Junio	9:26	1:00	10:26
Julio	9:41	1:00	10:41
Agosto	10:37	1:01	11:38
Septiembre	11:51	0:53	12:44
Octubre	13:07	0:54	14:01
Noviembre	14:17	1:00	15:17
Diciembre	14:54	1:04	15:58

\*Los valores aquí presentados corresponden al cálculo para el día 15 de cada mes

## 2.1 PELIGROSIDAD DE DAÑO POR SOL EN FRUTALES

Las características propias de radiación solar y temperaturas primavero-estivales conforman un escenario climático adecuado para la ocurrencia del daño por sol en frutos. El umbral de temperatura de superficie del fruto ( $T_{SF}$ ) para que se genere daño por afeción de la epidermis es de 45°C, pero se considera que, con los altos valores de radiación solar ultravioleta de la región del Alto Valle, los umbrales térmicos pueden ser menores, de 32° a 37°C (Colavita *et al.*, 2005).

La radiación solar directa provoca un aumento de la temperatura superficial de frutos expuestos de hasta 10,8°C con respecto a la cara no expuesta (Raffo *et al.*, 2011). La intensidad de la radiación solar recibida varía de acuerdo al momento del día y época del año y, la ventana de riesgo más crítica ocurre en los meses de diciembre y enero (Rodríguez, A. *et al.*, 2020). El índice térmico utilizado para caracterizar cada temporada en función del potencial grado de afeción por asoleado en frutas, es la acumulación horaria de temperaturas medias de aire superiores a 29°C. Valores acumulados del índice, de noviembre a febrero, inferiores a 70 horas, se asocian con daño leve, de 80 a 150 con daño moderado y superiores a 160 con daño grave. En el Alto Valle los valores medios del periodo 2003-2019 superan las 330 horas acumuladas (Tabla 12).

Tabla 12. Índice calórico asociado al daño por sol en frutales de hoja caduca, horas con temperaturas superiores a 29°C. Alto Valle de Río Negro

Periodo	Valor medio, serie 2003-2019	Máximo registrado (temporada 2008-2009)	Mínimo registrado (temporada 2009-2010)
Noviembre-diciembre	166	191	49
Enero-febrero	173	284	200
Total de temporada	339	475	249



The background of the page features a light beige color with faint, stylized topographic contour lines. A vertical bar on the right side is divided into a dark blue upper section and a red lower section.

*capítulo*

# 3

## ANÁLISIS DE VIENTOS

En los valles del norte de la Patagonia el viento es un factor meteorológico de gran importancia. El análisis se realiza con vientos a 10 metros de altura, dado que expresan la variable con la menor incidencia del sistema productivo. Cabe destacar que a dos metros de altura el viento tiene un efecto directo sobre los cultivos frutícolas y en términos medios (análisis de correlación serie 2004-2019) las velocidades a dos metros son un 25% menores que a diez metros. Desde el punto de vista agrometeorológico, es importante evaluar el comportamiento del viento en función de tres variables: velocidad, frecuencia y momento de ocurrencia dentro del ciclo del cultivo.

Los vientos se clasifican de acuerdo a los rangos de velocidad de Beaufort en: suaves, de 6,1-18 km/h; moderados, de 18,1-35 km/h; fuertes, de 35,1-54 km/h; temporal, más de 55 km/h y ráfagas, velocidad instantánea mayor a 50 km/h.

En el Alto Valle, si bien hay presencia de vientos durante todo el año, el periodo de velocidades medias más altas es de agosto a enero, durante la primavera e inicios del verano (Tabla 13). Las mayores frecuencias de calmas se dan en los meses de marzo y mayo. En cuanto a la ocurrencia de ráfagas, se dan en cualquier momento del año y el valor máximo se ha registrado en agosto y diciembre del año 2017 y en abril del 2014 con más de 90 km/h.

Tabla 13. Caracterización de vientos a 10 metros de altura. Serie 1990-2019, Estación meteorológica de INTA Alto Valle

	Ráfagas máximas (km/h)	Velocidad media (km/h)	Velocidad Máxima media (km/h)
Enero	80,5	5,9	28,6
Febrero	83,7	5,0	25,5
Marzo	82,1	4,6	23,4
Abril	91,7	4,2	21,6
Mayo	83,7	4,2	19,6
Junio	88,5	5,4	22,3
Julio	85,3	5,1	23,1
Agosto	96,6	6,0	25,5
Septiembre	86,9	6,7	27,0
Octubre	82,1	6,7	28,5
Noviembre	78,9	7,3	30,2
Diciembre	91,7	7,0	29,5

La dirección predominante es del cuadrante suroeste y oeste en primavera y verano. En otoño suroeste, noroeste y en invierno predominan los vientos del noroeste y oeste (Figuras 25, 26 y 27).

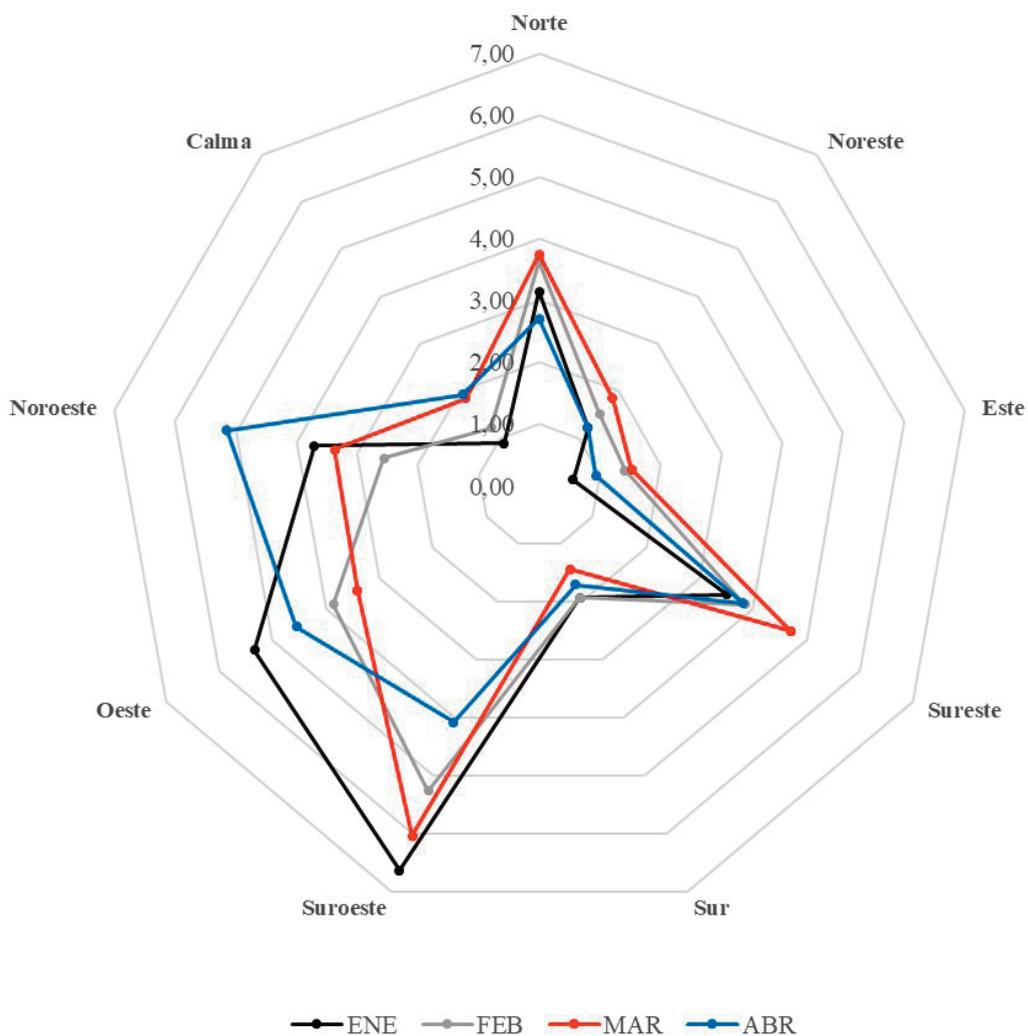


Figura 25. Frecuencia de vientos por dirección en enero, febrero, marzo y abril, serie 1990-2019. Alto Valle

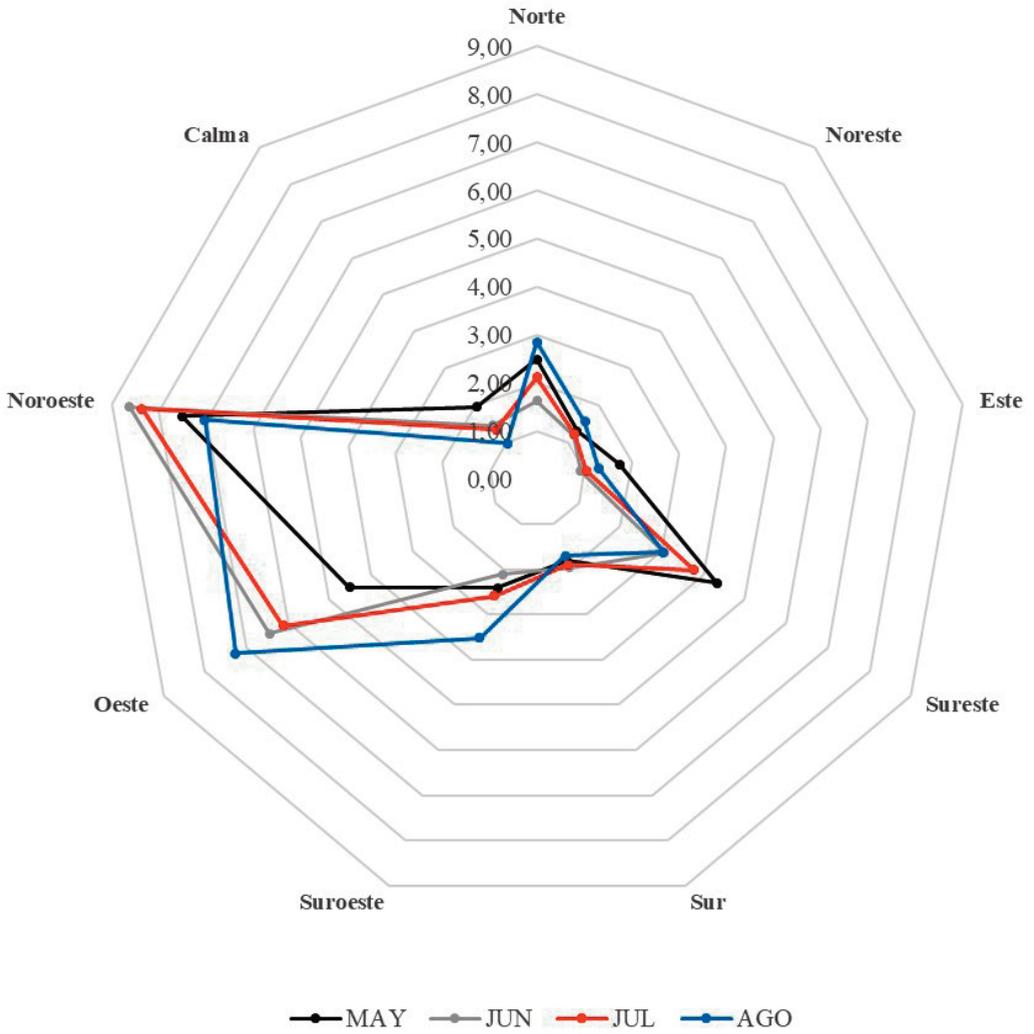


Figura 26. Dirección de los vientos en mayo, junio, julio y agosto, serie 1990-2019. Alto Valle

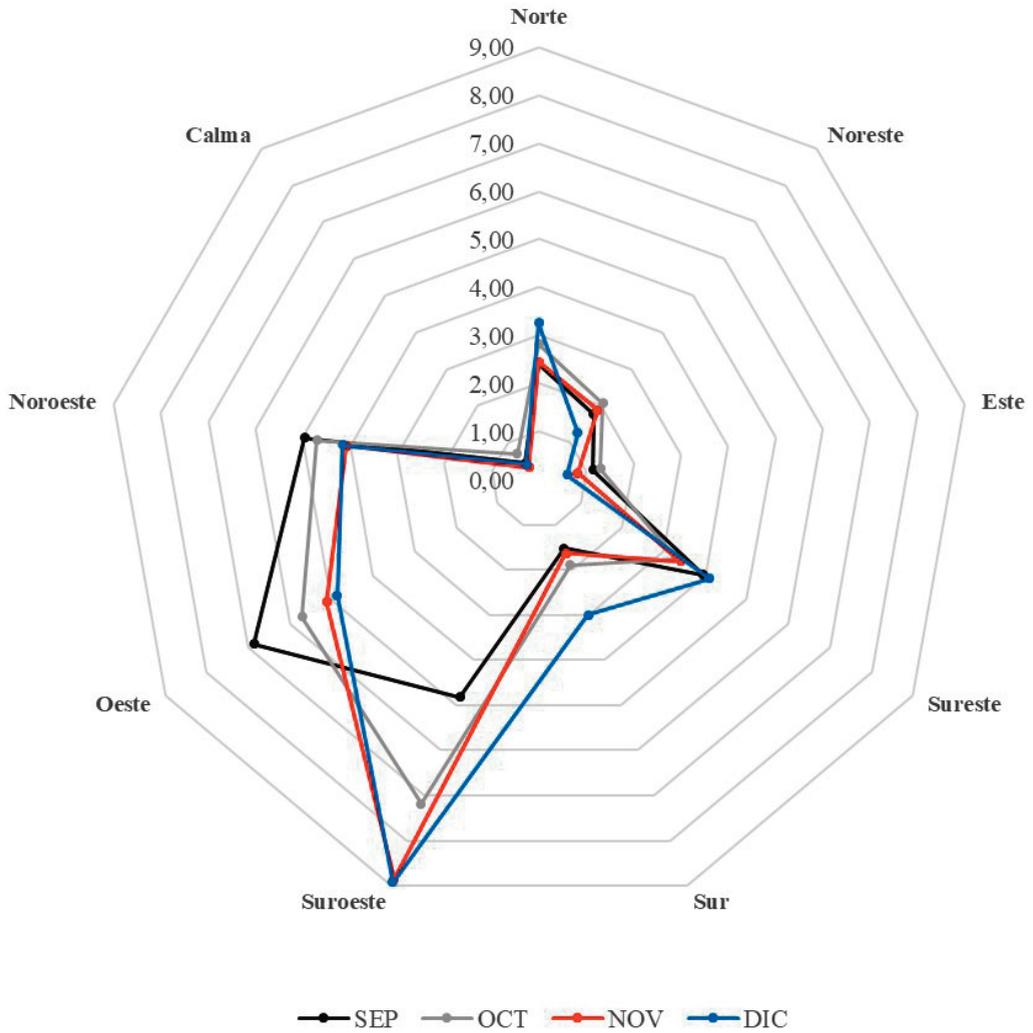


Figura 27. Dirección de los vientos en septiembre, octubre, noviembre y diciembre, serie 1990-2019. Alto Valle

Los vientos de mayor velocidad provienen del suroeste en primavera y verano; en segundo orden los del noroeste en invierno y otoño (Tabla 14).

Tabla 14. Velocidad máxima media de vientos por dirección, Serie 1990-2019. Estación meteorológica de INTA Alto Valle

Velocidad Máxima Media (km/h)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Norte	29,0	26,9	21,3	17,6	18,8	15,2	18,2	20,1	28,7	26,9	25,2	22,6
Noreste	32,0	26,0	26,5	22,3	20,5	16,4	22,7	26,5	25,3	24,9	30,9	33,0
Este	18,7	19,9	14,8	15,8	16,6	12,1	14,8	18,1	21,3	19,0	19,2	20,4
Sureste	31,5	29,9	23,4	21,2	19,6	18,9	19,9	23,4	25,7	26,5	28,2	28,6
Sur	21,5	15,8	15,6	16,6	12,1	11,2	17,1	13,8	20,6	19,4	20,2	26,3
Suroeste	35,8	34,5	31,7	32,4	25,2	32,3	31,6	31,0	35,1	37,3	37,5	39,6
Oeste	20,2	17,7	17,7	19,7	15,7	24,5	24,1	26,2	25,0	21,9	25,3	22,1
Noroeste	29,5	28,8	25,4	24,8	25,9	27,4	27,8	30,3	28,6	29,8	30,1	29,5

Vientos moderados provocan daños leves a moderados sobre los frutos y las hojas; con velocidades superiores a 35 km/h, la gravedad del daño es superior produciendo deformaciones importantes en frutos, ramas y hojas (Gil *et al.*, 1988). Las cortinas protectoras con una porosidad del 50%, reducen significativamente la velocidad del viento en el orden del 10 al 30 %. En base a esta información la presencia de cortinas podría disminuir la intensidad de vientos fuertes a valores no menores a 25 km/h y atenuar la velocidad de las ráfagas como máximo a 35 km/h. Una cortina forestal adecuada, disminuye hasta un 20% la proporción de frutos dañados y otorga una protección significativa hasta una distancia equivalente a cinco veces su altura (Thomas, E. & Rodriguez, A. 2014; Rodriguez, A. *et al.*, 2014). Ante estas condiciones, la ocurrencia de uno o más eventos de vientos fuertes, es suficiente para que se manifieste daño por rameado y consecuentemente la pérdida de calidad de la producción.

En la Figura 28 puede observarse que la mayor frecuencia de horas con vientos fuertes ocurre en el mes de noviembre y diciembre, momento clave dado el desarrollo de los frutos. La frecuencia de vientos fuertes en enero es algo menor pero relevante porque variedades tempranas de peras se encuentran en un estado de madurez evolucionado y en consecuencia tienen mayor probabilidad de que ocurra caída de fruta.

Para el análisis de variabilidad interanual solo contamos con 15 años de registros por lo cual no se puede mencionar una tendencia en la ocurrencia de vientos fuertes (Figura 29). Sin embargo, se observan años muy ventosos como el 2009 y 2010 (anomalías positivas más altas) y en los últimos 5 años no han ocurrido eventos de viento que superen la frecuencia normal para la zona.

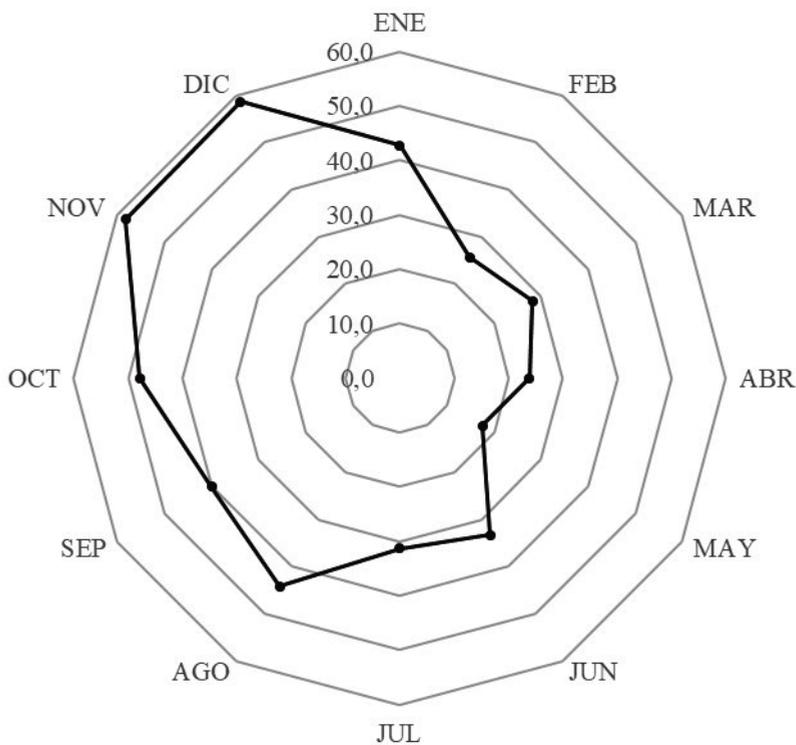


Figura 28. Frecuencia mensual de horas con vientos fuertes, valores medios 2005-2019. Alto Valle

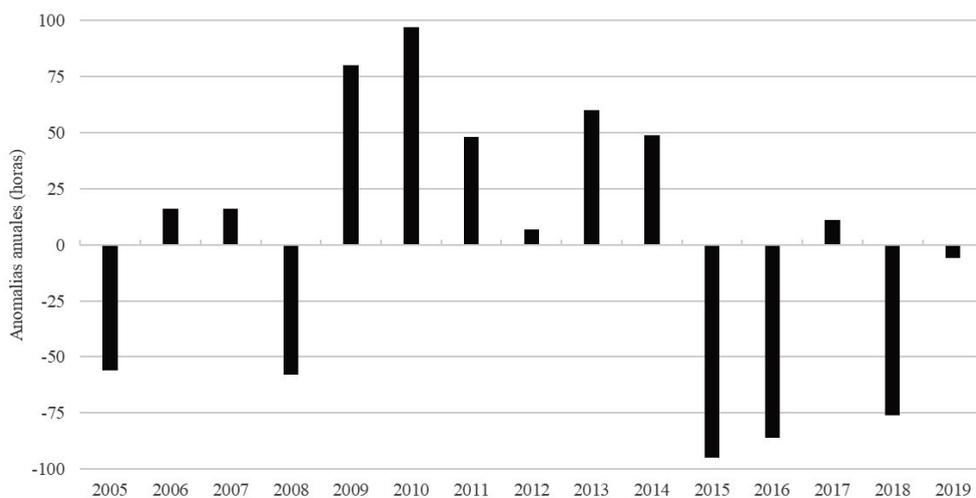


Figura 29. Variabilidad interanual, anomalías de frecuencias de vientos fuertes serie 2005-2019. Alto Valle





*capítulo*

# 4

## HUMEDAD RELATIVA

En términos generales el trimestre invernal tiene los valores medios más altos de humedad relativa (Figura 30), asociadas a la mayor frecuencia de días con lluvias. La humedad relativa máxima se registra durante la noche; durante el día es muy variable según la temperatura de aire y la presencia de viento.

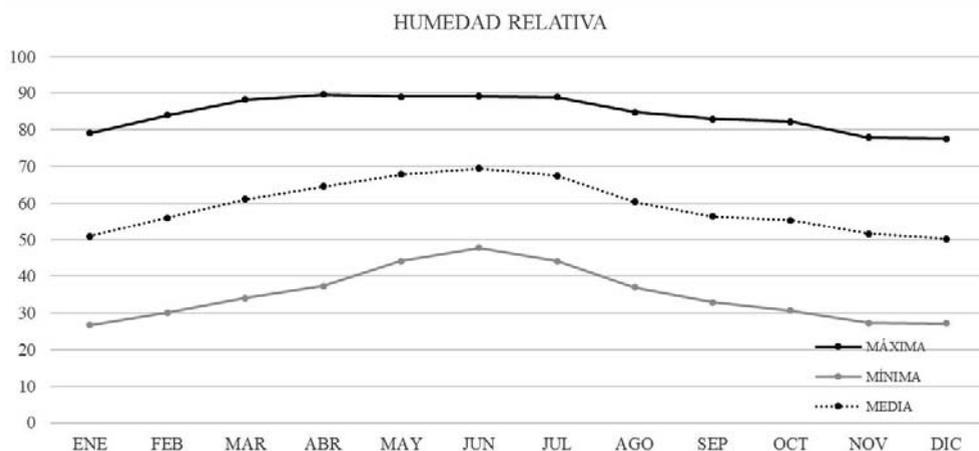


Figura 30. Humedad Relativa. Valores medios mensuales serie 1970-2019, Alto Valle

La variabilidad de la humedad relativa en primavera, en coincidencia con el periodo de heladas, tiene gran importancia agronómica dado que determina la intensidad de la helada, influyendo directamente en la velocidad de descenso térmico nocturno (De Rossi *et al.*, 2018; Tassara, M. 2012). Localmente es común que, en condiciones de helada, la humedad ambiental esté cerca del 70 % y se den descensos térmicos de 2°C por hora. Solo con periodos lluviosos previos se pueden dar condiciones de 100 % de humedad ambiental y en ese caso el descenso térmico es de aproximadamente 1°C por hora.

La humedad ambiental determina el déficit de presión de vapor (DPV) y juega un rol regulador sobre la transpiración y conductividad estomática de los frutales de pepita y carozo (Mañueco *et al.*, 2015). En verano durante plena fase de crecimiento de los frutos, bajos valores de humedad ambiental (20 a 30%) se traducen en altos valores de dpv, baja conductividad estomática y aumento en las tasas de transpiración. Si estas condiciones son acompañadas por altas temperaturas (por encima de los 30°C), condiciones de viento en calma y/o fuertes vientos (mayores a 45 km/h) se genera estrés hídrico con efectos negativos sobre la tasa de crecimiento de los frutos (Rodríguez, A., 2011).



*capítulo*

# 5

## EVAPOTRANSPI- RACIÓN POTENCIAL (ETO)

Dentro del balance hídrico asociado a los cultivos, la evapotranspiración es un parámetro básico y determinante porque cuantifica el agua que sale del sistema productivo. El régimen de lluvia local no cubre los requerimientos hídricos de los cultivos; en términos generales tenemos un déficit de 800 mm anuales (Tabla 13). Este déficit hídrico es cubierto por el sistema de riego.

La evapotranspiración (ETO) contempla dos procesos separados de pérdida de agua: 1- a través de la superficie del suelo por evaporación y 2- mediante transpiración del cultivo. Los valores de ETO analizados en este documento pertenecen al método de la FAO Penman-Monteith y utiliza datos climáticos estándar fácilmente medidos. En este método se contempla al cultivo de referencia como un cultivo hipotético, es decir evaporación que ocurre en una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y bien regada.

La necesidad hídrica específica de cada cultivo se obtiene de multiplicar el valor de ETO por coeficiente de cultivo, Kc (respuesta específica de cada especie). Los frutales tienen valores de Kc entre 0,3 y 1,4 y varían de acuerdo al momento del ciclo de desarrollo del frutal; los valores más altos corresponden a los meses de verano, de diciembre a febrero (Requena *et al.*, 2016; Mañueco *et al.*, 2019). Los requerimientos hídricos de especies forestales pueden ser mucho mayores, por ejemplo, para álamos el Kc es de 2,95 (Riu & Settepani, 2004).

Los valores máximos de ETO se dan en el mes de diciembre y enero entre 9,35 y 8,03 mm/día (Figura 31). Los valores más frecuentes (moda) y las medias no difieren demasiado con valores cercanos a 5 mm/día en verano, próximos a 3 mm/día en primavera y otoño y menores a 2 mm/día en el invierno. El percentil 10 nos indica el valor mínimo más probable y esto nos permite ver que en verano, el requerimiento hídrico mínimo en la región es cercano a los 4 mm/ día. Estos valores, afectados por el kc de los frutales en pleno desarrollo, nos señalan que las necesidades hídricas en los momentos claves del ciclo de los cultivos frutícolas están en un rango de 6 a 13 mm/día.

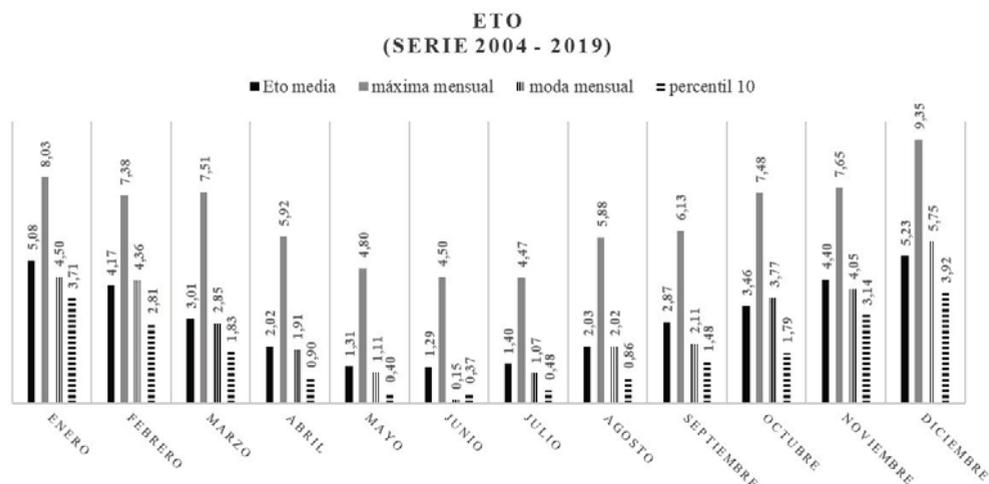
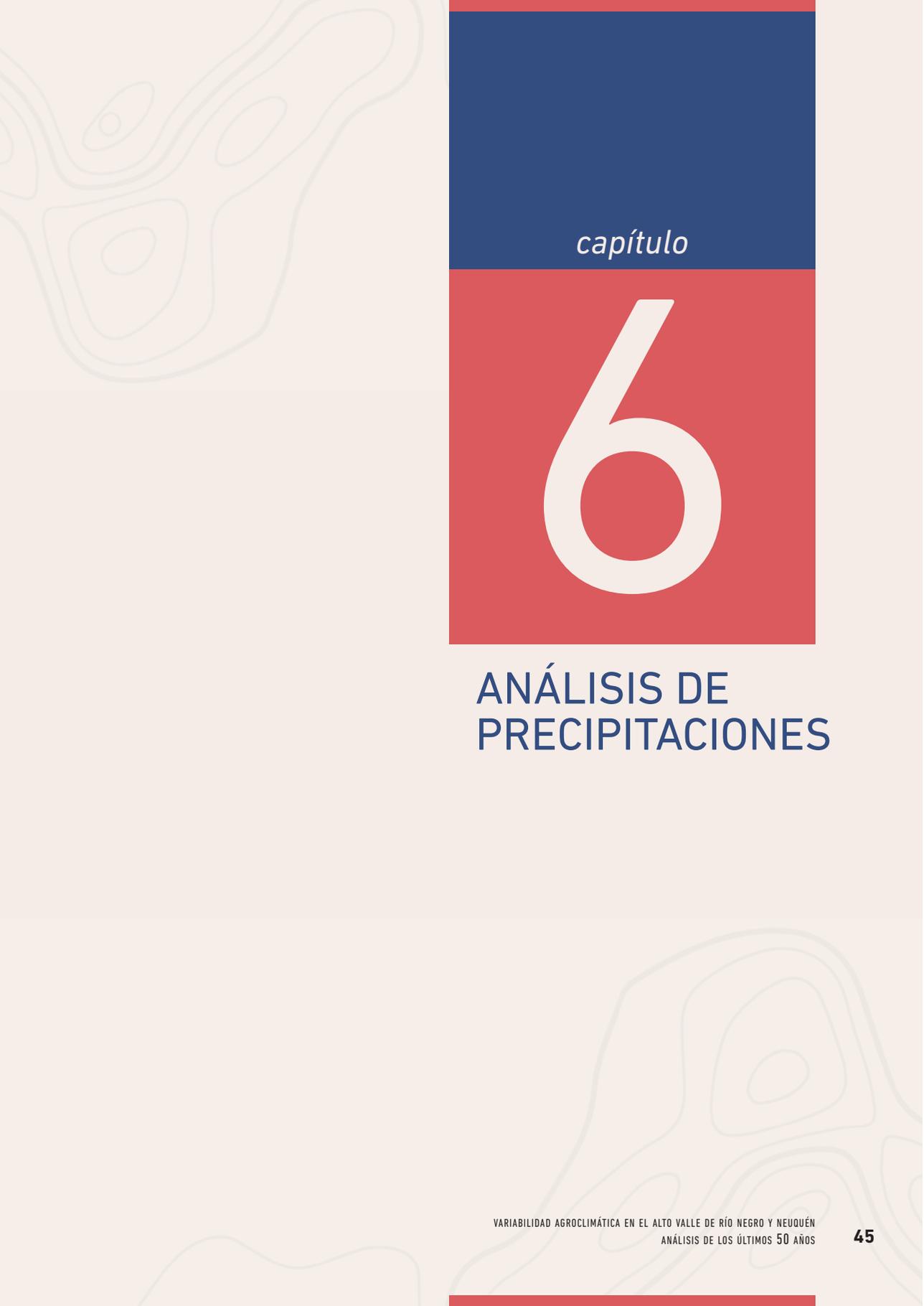


Figura 31. Comportamiento mensual de la Evapotranspiración potencial de Alto Valle (expresado como milímetros/día)

The background of the page features a light beige topographic map with faint contour lines. A vertical bar on the right side is divided into a dark blue upper section and a red lower section.

*capítulo*

# 6

## ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

La región se caracteriza por tener un clima semiárido con lluvias deficientes durante todo el año. Por esta razón es una de las zonas productivas más importantes bajo riego del país. El sistema de riego tiene más de 100 años de historia. Las lluvias presentan una ocurrencia heterogénea y solo ante eventos extremos destacados se han registrado precipitaciones homogéneas en todo el territorio. Las precipitaciones sólidas como el granizo se dan con mayor frecuencia en el mes de enero, le siguen en orden de importancia noviembre y diciembre (Tabla 15). La caída de nieve es muy poco frecuente, registrándose como eventos notables, por ejemplo, los inviernos de 1982, 2007, 2020.

El valor medio anual de lluvia acumulada para el Alto Valle es de 227 mm, con una frecuencia de 51 días con lluvias (Tabla 15). El régimen anual de lluvias se caracteriza por concentrar la mayor cantidad de agua acumulada en los meses de febrero, marzo, abril y en primavera en el mes de octubre. La mayor frecuencia de días lluviosos se registra en el mes de mayo y junio (Figura 32).

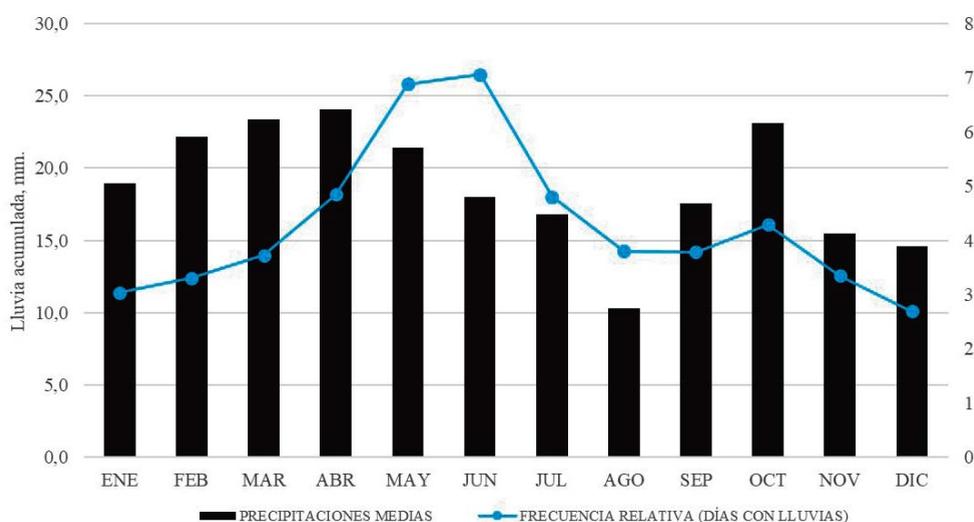


Figura 32. Régimen anual de lluvias. Valores medios mensuales de los milímetros acumulados. Serie 1970-2019. Estación meteorológica de INTA Alto Valle

Tabla 15. Síntesis. Caracterización Pluviométrica. Serie 1970-2019. Estación meteorológica de INTA Alto Valle

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
Precipitaciones medias (mm)	19,0	22,9	24,2	23,5	21,3	18,1	15,7	10,6	18,1	23,6	15,1	14,7	*227,0
Frecuencia absoluta media (días con lluvias)	3,0	3,3	3,7	4,9	6,7	6,9	4,7	3,9	3,8	4,3	3,3	2,6	51,3
Humedad Relativa máxima media (%)	79	84	88	89	89	89	89	85	83	82	78	77	84
Humedad Relativa mínima media (%)	27	30	34	37	44	48	44	37	33	31	27	27	35
Evapotranspiración Potencial media diaria (mm)	5,0	4,2	3,0	2,0	1,3	1,3	1,4	2,0	2,9	3,5	4,4	5,2	*1101
Frecuencia media de granizadas (media de 18 localidades del AV)	1	0,5	0,4	0,1	0	0	0	0	0	0,6	0,8	0,6	4

## 6.1. VARIABILIDAD INTERANUAL DE LLUVIAS

La variabilidad del acumulado anual de lluvias es amplia, registrándose años con menos de 100 mm y otros por encima de los 400 mm. En la Figura 33, a través de la media móvil puede observarse que ocurren periodos más húmedos, alternados con periodos más secos. De la década del 70 al 90 los periodos secos han sido cortos, de 2 a 3 años. Sin embargo, en las dos últimas décadas hubo mayor frecuencia de años secos entre el 2007 y 2013 y mayor variabilidad interanual del 2014 al 2019, alternado años húmedos y secos (Figura 34). En cuanto a tendencias podemos decir que no se manifiesta una disminución significativa o aumento sostenido de lluvias ( $r^2 = 0,0532$ ).

Consideramos eventos extremos a aquellos donde el valor de lluvia acumulada está por encima del percentil 90 (338 mm) o por debajo del percentil 10 (114,2 mm). Los años con sequías extremas se registraron principalmente en las dos últimas décadas (2013, 2011, 2009, 2003 y 1989). Los años con lluvias extremas fueron 1973, 1984, 1988 y 1999. Las consecuencias productivas de las lluvias excesivas dependen del momento del año en el que ocurren. Por ejemplo en la logística de cosecha, repetición de tratamientos sanitarios, mayor incidencia de enfermedades tales como sarna (*Venturia* sp.).

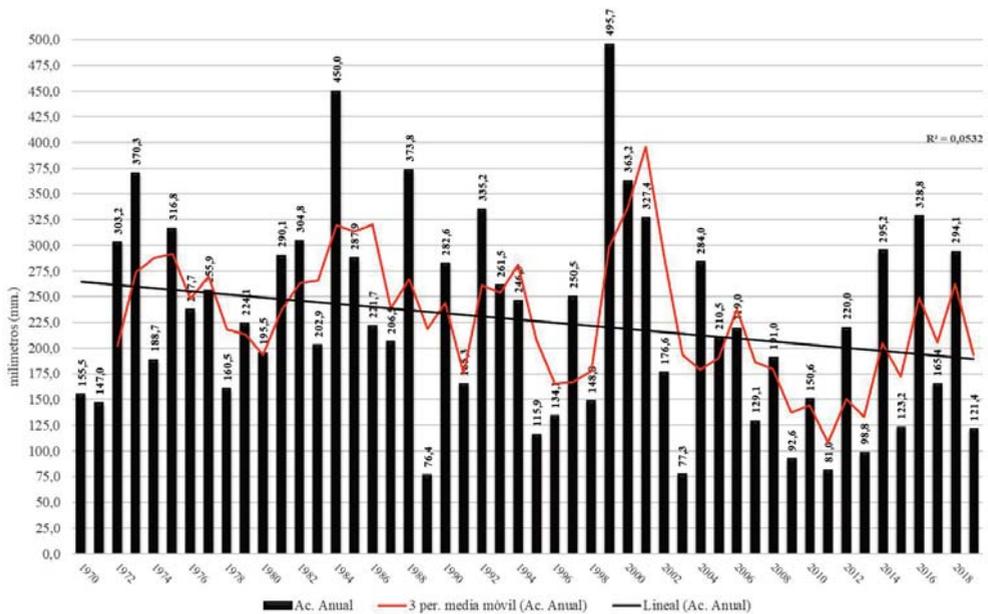


Figura 33. Comportamiento interanual de lluvias 1970-2019 de Alto Valle

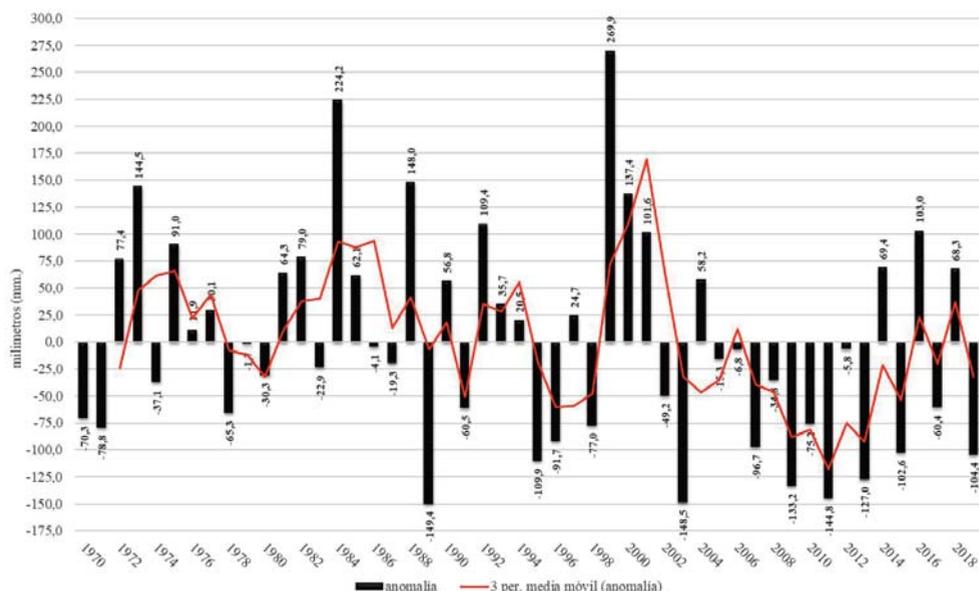


Figura 34. Variabilidad interanual con respecto al valor medio de la serie 1970-2019; 227 mm

## 6.2. VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LLUVIAS

La mayor cantidad de lluvias ocurren en otoño y primavera con acumulados medios de 70,4 mm y 57,3 mm respectivamente. Sin embargo, las lluvias de verano e invierno no se alejan demasiado de los valores anteriores, con 55,7 mm y 45,2 mm respectivamente (Figura 35).

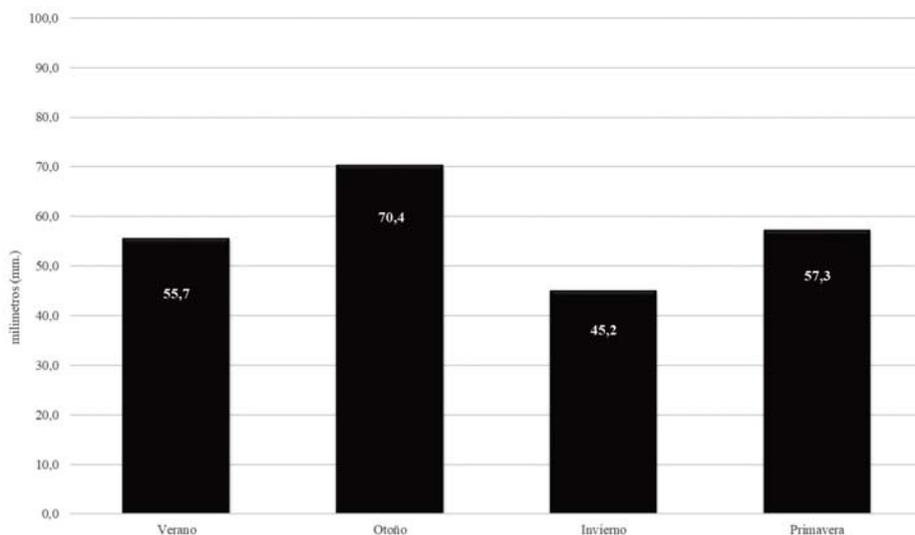


Figura 35. Distribución estacional del acumulado de lluvias en Alto Valle, valor medio serie 1970-2019

Las lluvias de verano han registrado valores extremos por encima de la media, principalmente en la década del 70 al 90 (Figuras 36 y 37). En las últimas dos décadas no se manifiestan eventos extremos de tal magnitud y la variabilidad con respecto al valor medio, disminuye, pero presenta anomalías negativas (Figura 37). La tendencia es a la disminución del acumulado en lluvias estivales, pero hasta el momento estadísticamente es bajo el nivel de significancia ( $r^2=0,11$ ).

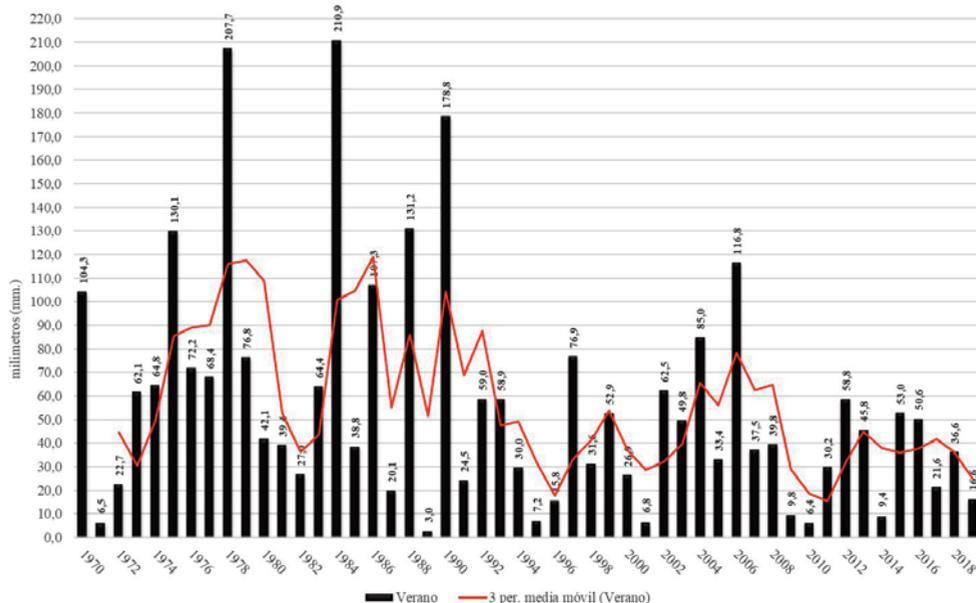


Figura 36. Comportamiento interanual de lluvias de verano (diciembre-enero-febrero) en Alto Valle, serie 1970-2019

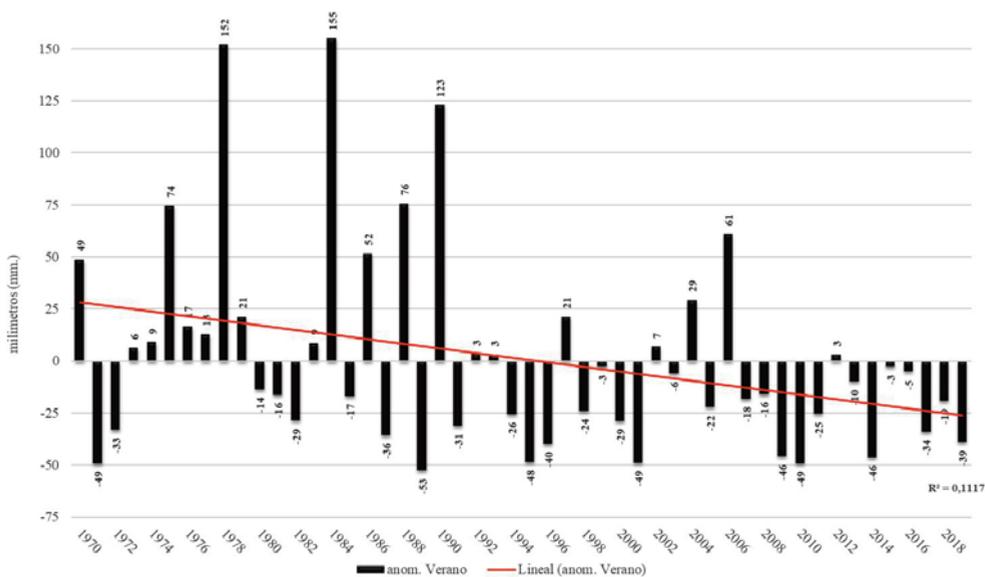


Figura 37. Anomalías de lluvias estivales (diciembre-enero-febrero)

Durante el otoño la ocurrencia de eventos extremos ha sido más constante a lo largo de las décadas (Figura 38). Los eventos extremos con excesos de lluvia muy importantes ocurrieron en 1973, 1974, 1981, 1999 y 2014 superando al valor medio en más de 50 mm (60%) (Figura 39). Respecto a los años extremadamente secos, con un acumulado trimestral menor a 23 mm, se registraron en 1970, 1971, 1989, 1995, 2005, 2011 y 2018.

No se manifiestan tendencias de cambio en el régimen de lluvias otoñales ( $r^2=0,0215$ ) (Figura 39). El mes donde se registraron las lluvias más importantes es abril.

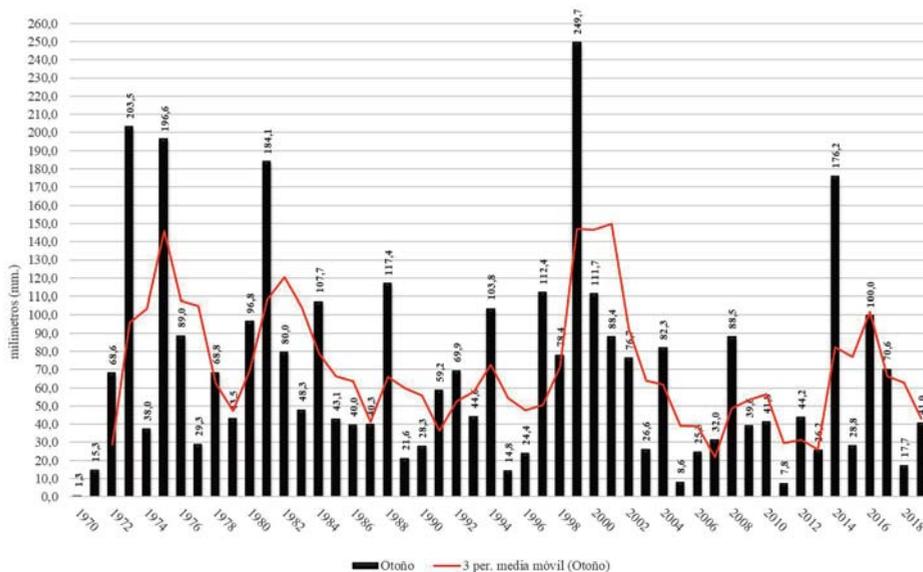


Figura 38. Comportamiento interanual de lluvias otoñales (marzo-abril-mayo) en Alto Valle, serie 1970-2019

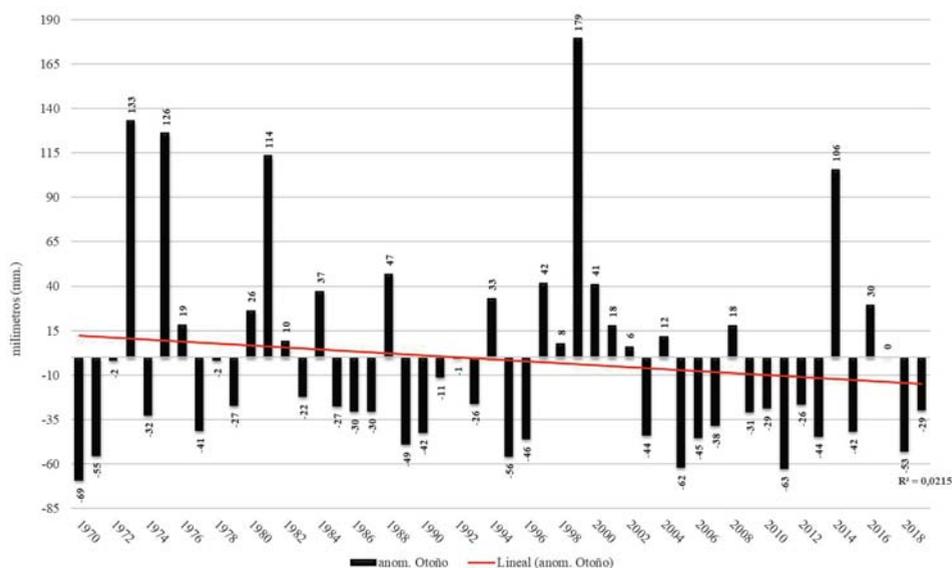


Figura 39. Anomalías de lluvias otoñales (marzo-abril-mayo)

En el invierno la ocurrencia de lluvias ha sido más uniforme en estas últimas cinco décadas, sin embargo, cabe destacar que se registraron anomalías negativas continuas desde el 2007 al 2017 (Figura 40). Los inviernos muy húmedos con lluvias extremas ocurrieron en los años 1971, 1982, 1992, 2000, 2018 y 2020 (Figura 41). El invierno más seco se registró en 1995 y 2003 con 4,2 y 4,9 mm, y el más húmedo en el año 1992 con 131 mm. No se visualiza hasta el momento tendencia de cambio en las lluvias invernales.

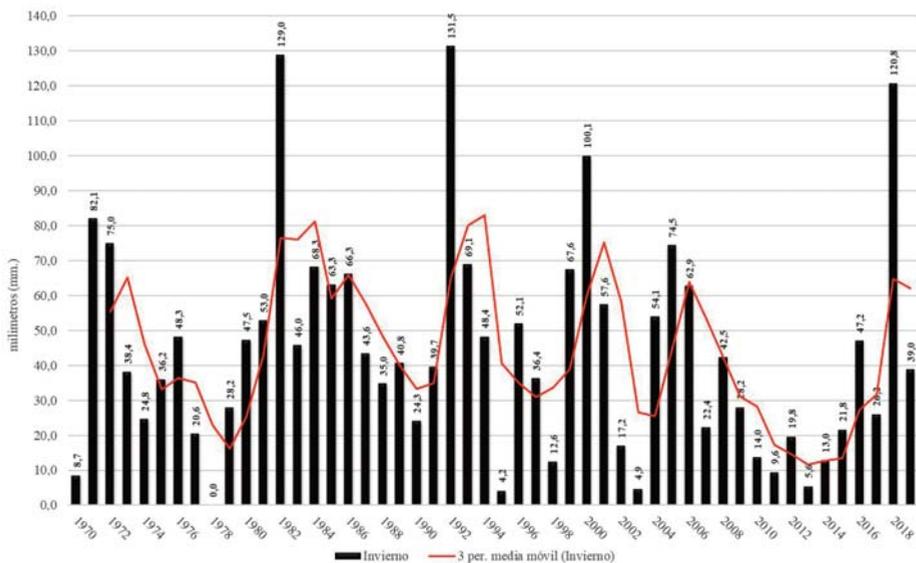


Figura 40. Comportamiento interanual de lluvias invernales (junio-julio-agosto) en Alto Valle, serie 1970-2019

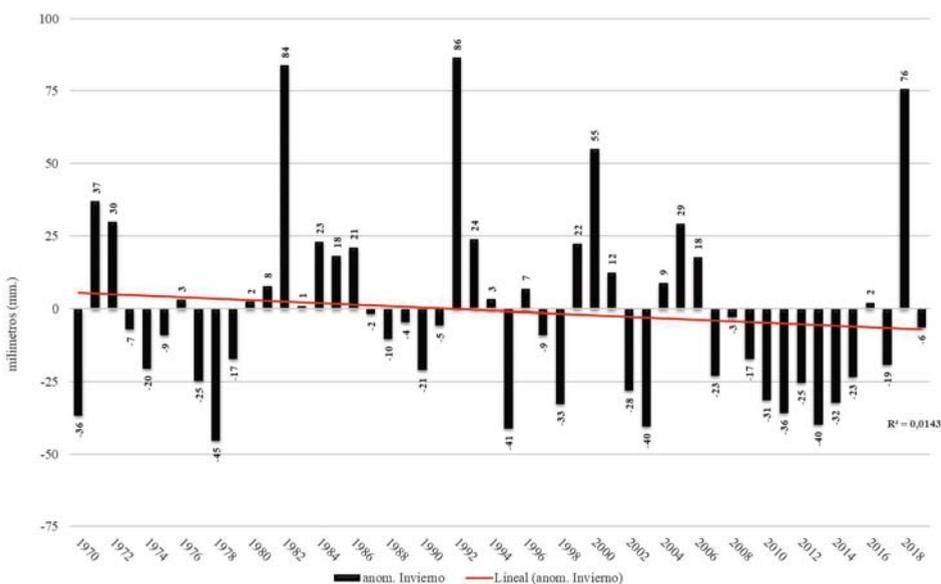


Figura 41. Anomalías de lluvias invernales (junio-julio-agosto)

Las lluvias en primavera muestran una variabilidad interanual importante, pero con algunos periodos húmedos marcados principalmente desde 1984 al 2001 (Figura 42). Primaveras muy secas se registraron con mucha frecuencia en estos últimos 50 años, sin embargo, se destaca el periodo de 1975 a 1989 con un mínimo de 2,6 mm en 1983 (Figura 43). Los eventos extremos por exceso de lluvias se registraron en mayor medida a partir de la década del 90 (1988, 1992, 1993, 2000, 2001, 2016 y 2018). La mayor acumulación se registró en 2018 con 135 mm.

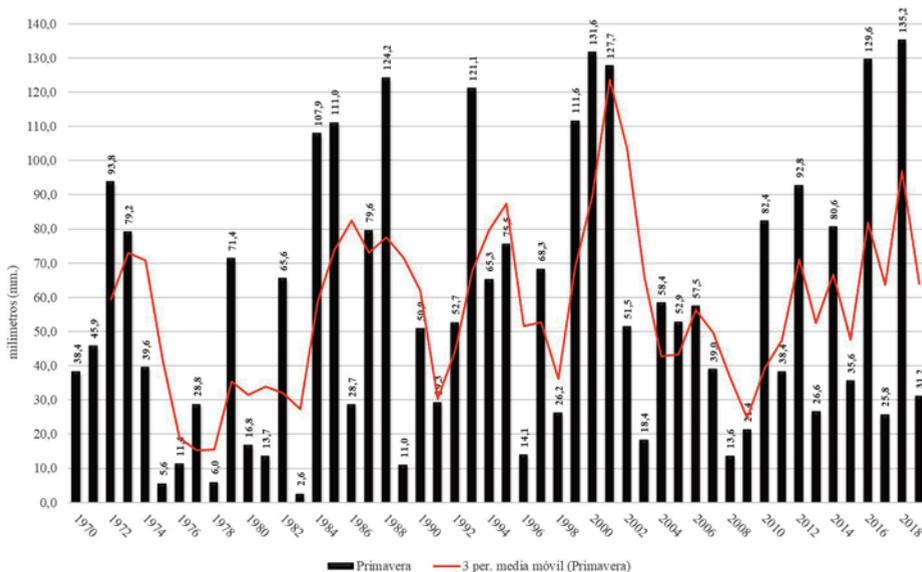


Figura 42. Comportamiento interanual de lluvias primaverales (septiembre-octubre-noviembre) en Alto Valle, serie 1970-2019

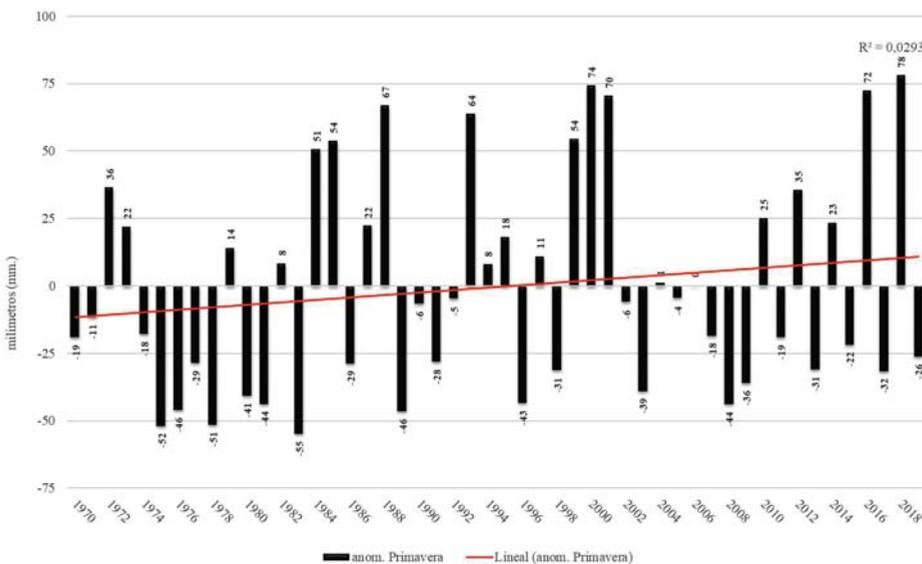


Figura 43. Anomalías de lluvias primaverales (septiembre-octubre-noviembre)

Las lluvias de primavera son de importancia a nivel productivo en frutales principalmente por el desarrollo de enfermedades, proceso de polinización y logística de manejo sanitario. En el periodo analizado no se observan cambios en el comportamiento de las lluvias primaverales; no hay tendencias de cambio ( $r^2=0,029$ ).

### 6.3. VARIABILIDAD ANUAL DE LA FRECUENCIA DE LLUVIAS

La frecuencia anual media de lluvias en Alto Valle es de 51 días. La media móvil identifica ciertos periodos de mayor frecuencia, pero es evidente un incremento en la última década, con la particularidad de un evento extraordinario en 2016 (Figura 44). Los valores extremos por exceso se registraron en 1982 y 84 y luego en 2005, 2014, 2016 y 2019 (Figura 45). Hay tendencias de incremento en la frecuencia anual de lluvias, pero con baja significancia estadística ( $r^2=0,13$ ).

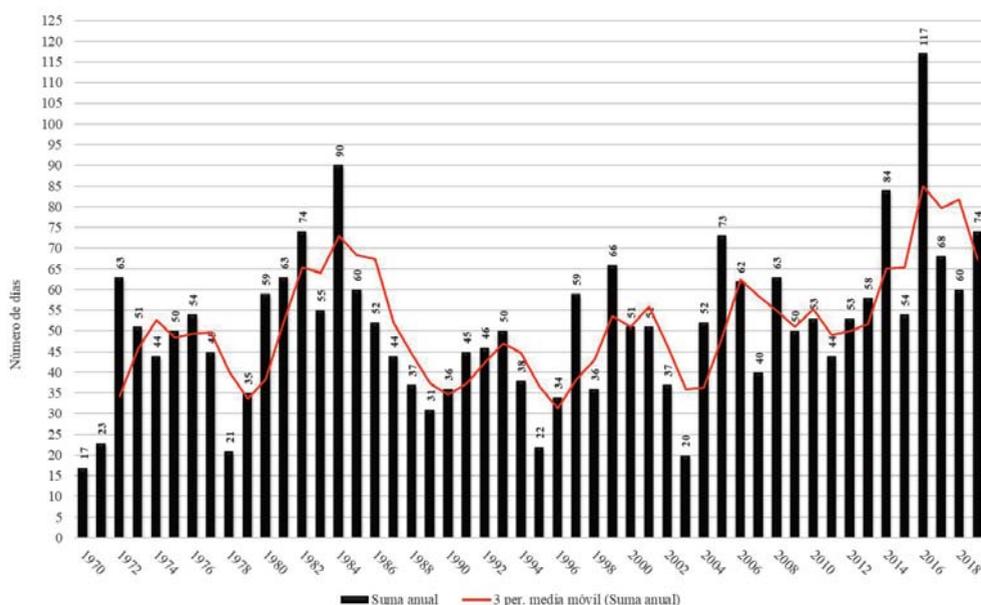


Figura 44. Frecuencia anual de lluvias en Alto Valle, serie 1970-2019

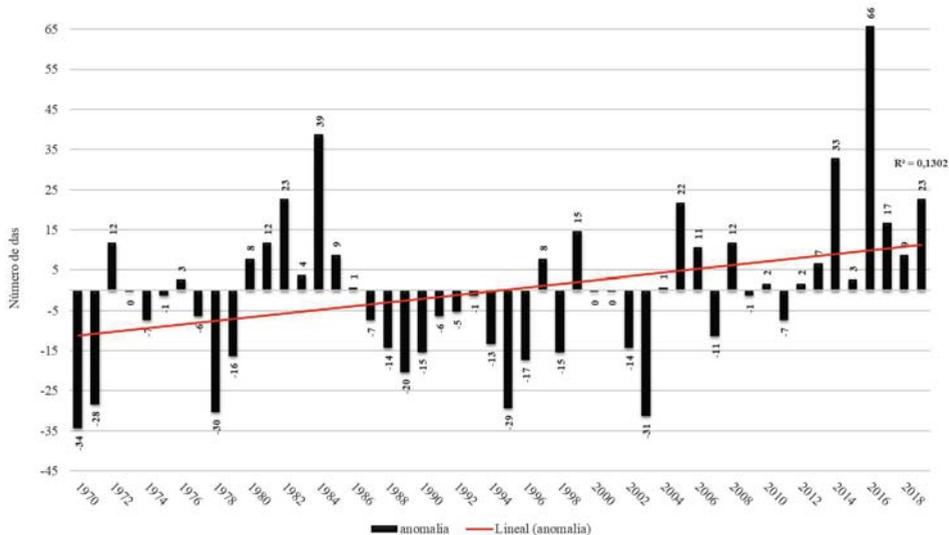


Figura 45. Variabilidad interanual de días con lluvias en Alto Valle

#### 6.4. VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA FRECUENCIA DE LLUVIA

La cantidad de días con lluvias es sumamente importante para un buen manejo productivo en fruticultura, más allá de la cantidad de agua caída, por lo cual es importante analizar la variabilidad de la frecuencia estacional.

Durante el verano la frecuencia es poco variable con una media móvil entre 5 y 10 días de lluvia (Figura 46). Los años extremos con más de 14 días de lluvias fueron 1975, 1978, 1984, 2006 y 2016. La menor frecuencia fue en los años 1971, 1982, 1989, 1996 y 2001 con menos de 5 días en todo el trimestre (Figura 47).

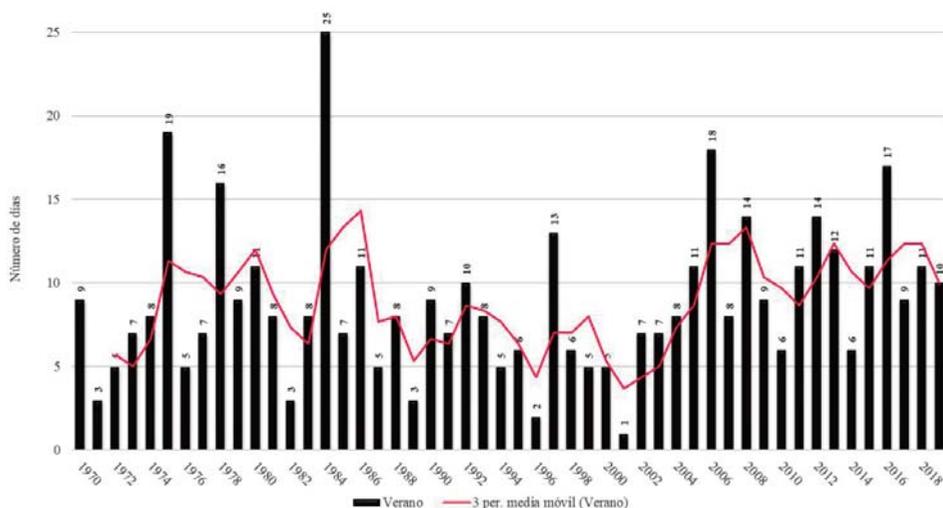


Figura 46. Frecuencia de días con lluvias en el trimestre estival para Alto Valle

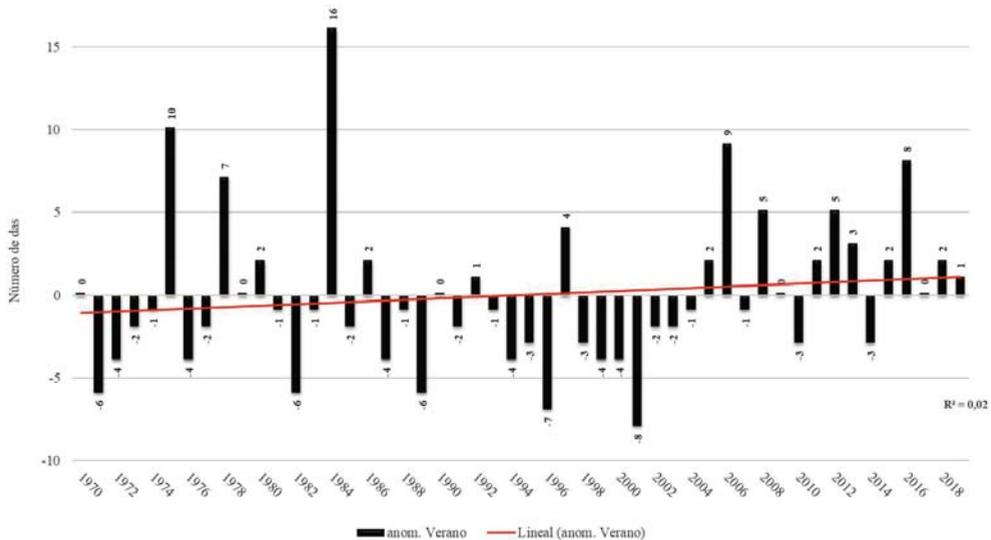


Figura 47. Variabilidad interanual de días con lluvias en verano

En lo que respecta al otoño, se identifican periodos de menor frecuencia de lluvias en la década del 70 y 90; por el contrario, los años de mayor frecuencia se registraron en los 80 y en los últimos 6 años (Figura 48). La variabilidad interanual muestra ciclos con anomalías positivas y negativas con claridad, pero no hay tendencias de cambios en la frecuencia de lluvias de otoño ( $r^2=0,079$ ) (Figura 49). El evento extremo más relevante por exceso fue en el año 2016 con 40 días de lluvia y el año extremo por déficit fue 1970 con tan solo 1 día de lluvia en todo el otoño.

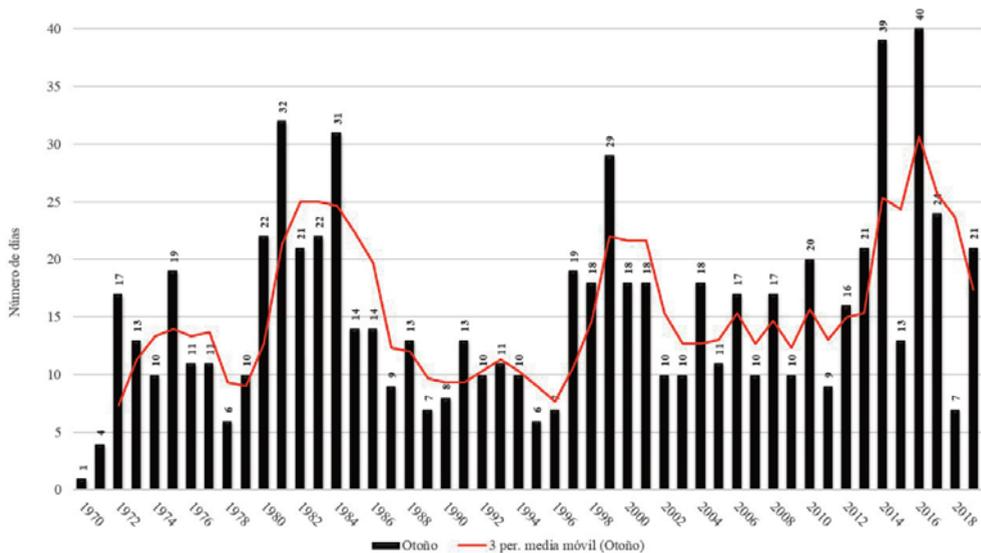


Figura 48. Frecuencia de días con lluvias en el trimestre otoñal para Alto Valle

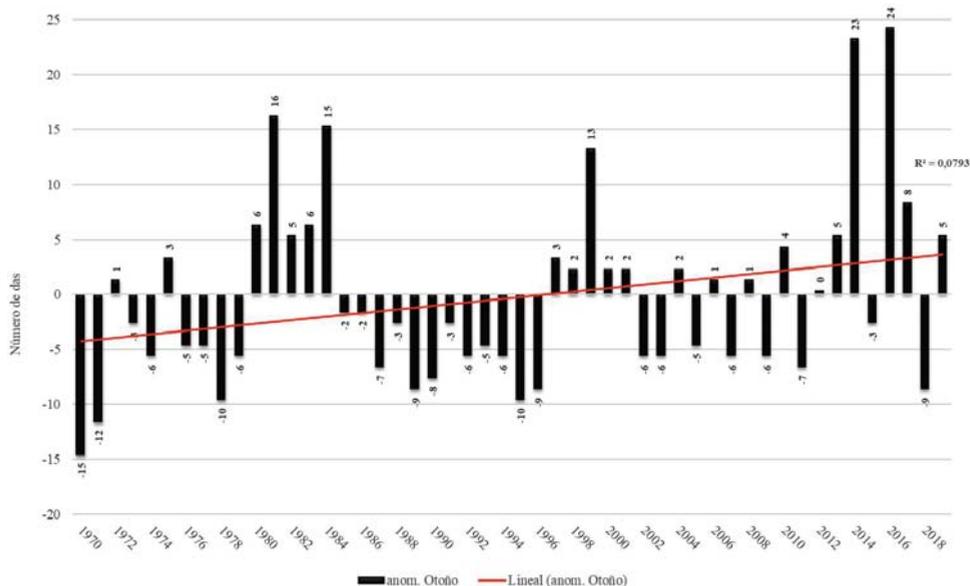


Figura 49. Variabilidad interanual de días con lluvias en otoño

Durante el invierno la frecuencia de lluvias es poco variable, sin embargo, se destacan los años 1982, 2005, 2016 y 2019 con un significativo incremento en el número de días con lluvias (Figura 50). El evento extremo más relevante por exceso fue en el año 2016 con 43 días de lluvia y el año extremo por déficit fue 1970 con tan solo 2 días de lluvia en todo el invierno.

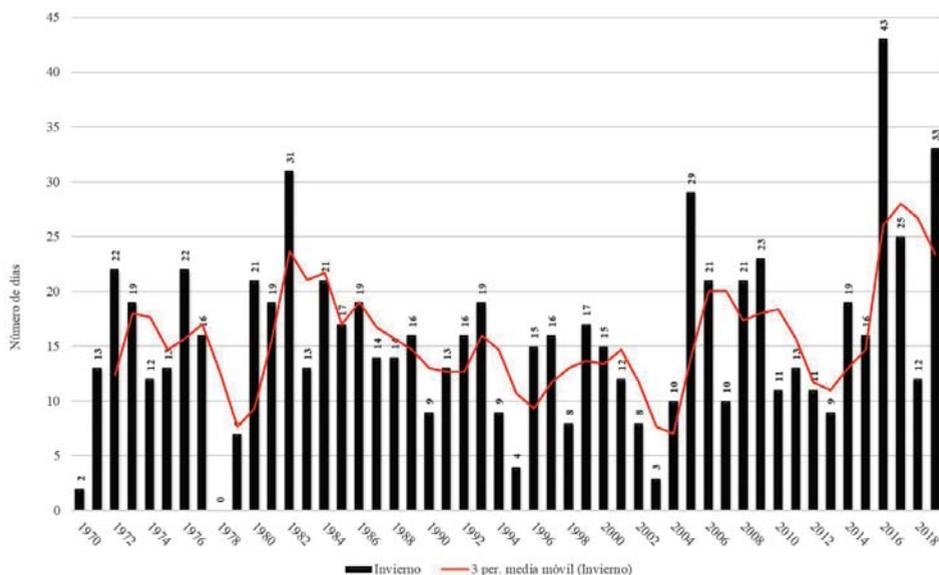


Figura 50. Frecuencia de días con lluvias en el trimestre invernal para Alto Valle

La variabilidad interanual muestra ciclos con anomalías positivas y negativas con claridad, pero no hay tendencias de cambios en la frecuencia de lluvias de invierno ( $r^2=0,0432$ ) (Figura 51). Las décadas del 70 y 90 se caracterizan por anomalías negativas y lo más relevante en anomalías positivas se observa en los últimos 4 años.

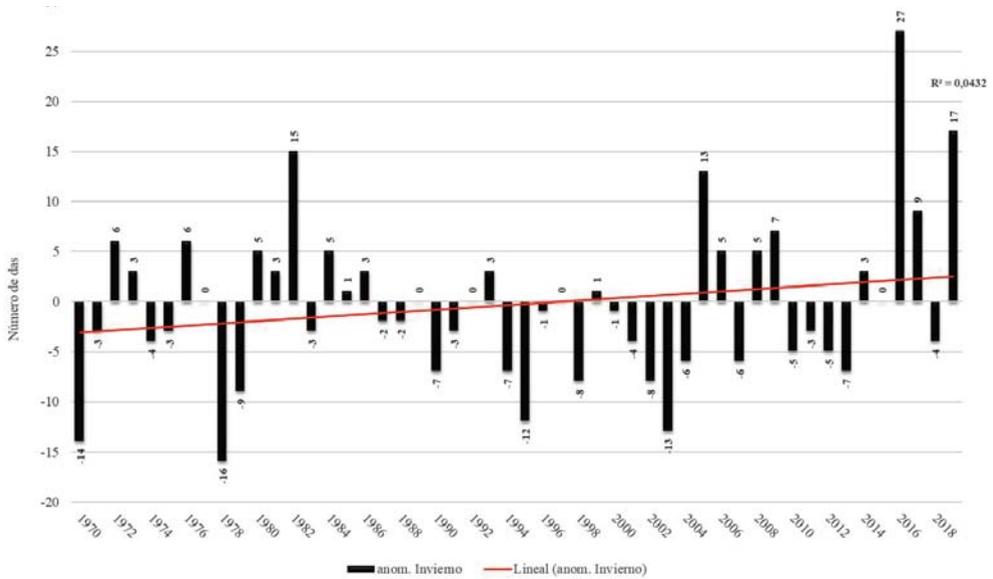


Figura 51. Variabilidad interanual de días con lluvias en invierno para Alto Valle

La frecuencia media de lluvias en primavera es de 12 días. Desde 1970 al 2000 se observa variabilidad interanual con años secos y húmedos (de 4 a 23 días con lluvias). A partir del año 2009 no se han registrado años con frecuencias menores a la media, el mayor número de días con lluvias en primavera fue en el 2018 con 26 días (Figura 52).

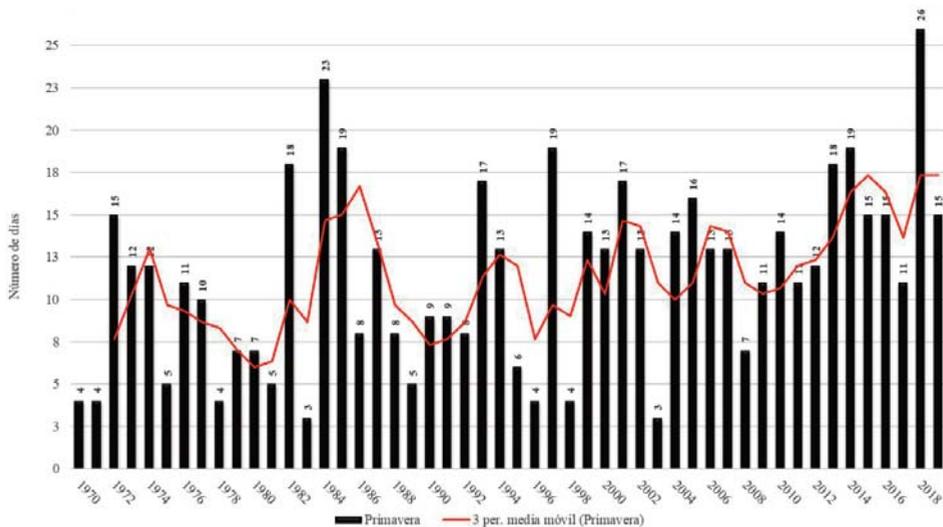


Figura 52. Frecuencia de días con lluvias en el trimestre primaveral para Alto Valle

Al analizar las anomalías se observa una tendencia de aumento en la cantidad de días con lluvia en primavera. Si bien dicha tendencia es estadísticamente poco significativa ( $r^2: 0,16$ ), es de importancia dado que en 2018 sucedió el evento extremo más importante de los últimos 50 años, superando en un 100% al valor medio (Figura 53). Un evento de características similares ocurrió en el año 1984.

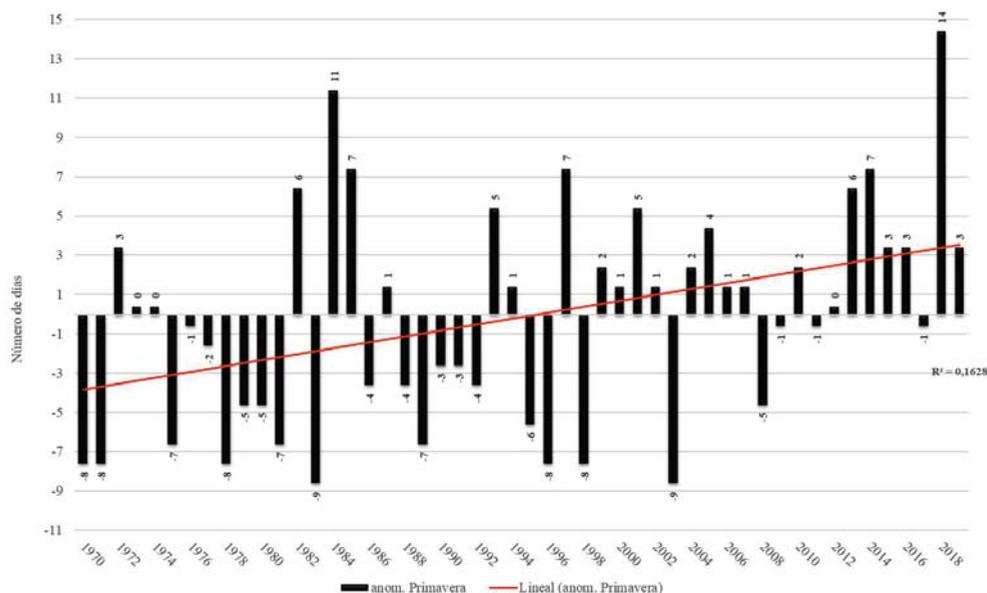


Figura 53. Variabilidad interanual de días con lluvias en primavera

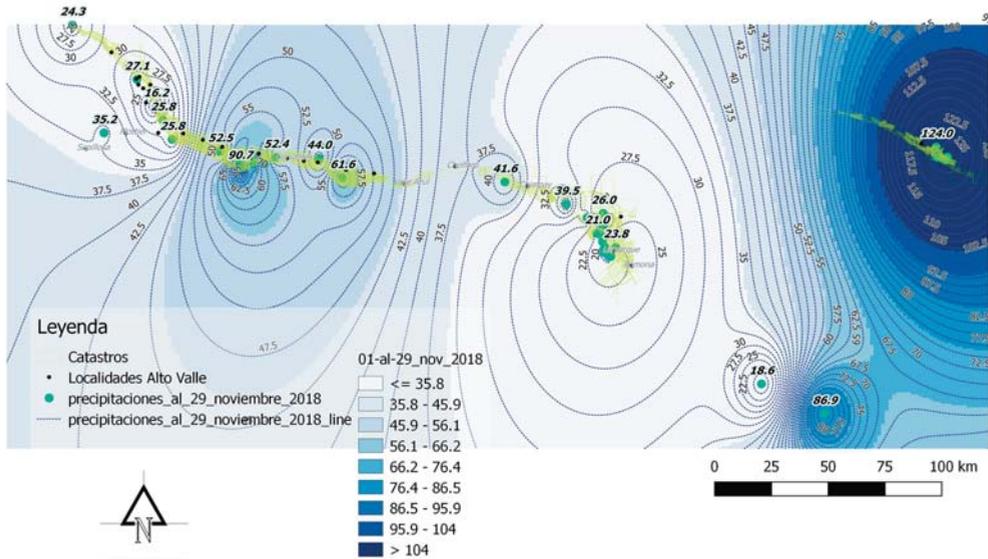
## 6.5. VARIABILIDAD ESPACIAL DE LLUVIAS

Desde el punto de vista productivo la variabilidad espacial de las lluvias es relevante principalmente en primavera y verano. En estos periodos los cultivos frutícolas están en pleno desarrollo y la lluvia ocurrida influye en aspectos como la eficacia del control de plagas, desarrollo de enfermedades, operatividad de otras labores culturales y variabilidad del microclima y su incidencia sobre la intensidad de heladas primaverales.

Si bien las variaciones de registros son significativas entre los tres valles de referencia (Tabla 16), en una misma zona difieren las características de cada lluvia (Mapa 6). Conocer este comportamiento es importante para un manejo productivo predial de mayor precisión y eficiencia (ej. riego, drenaje, manejo sanitario).

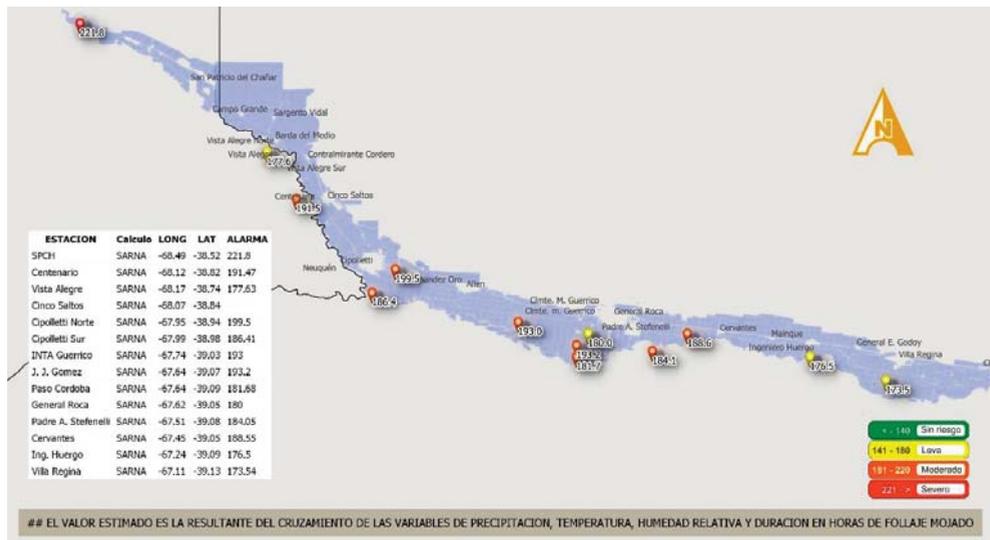
Tabla 16. Valores medios referenciales de tres zonas Alto Valle (AV), Valle Medio (VM) y Río Colorado (RC)

Variables	AV	VM	RC
Lluvia anual (mm)	227	299	459
Frecuencia de lluvias (Días/año)	51	50	43



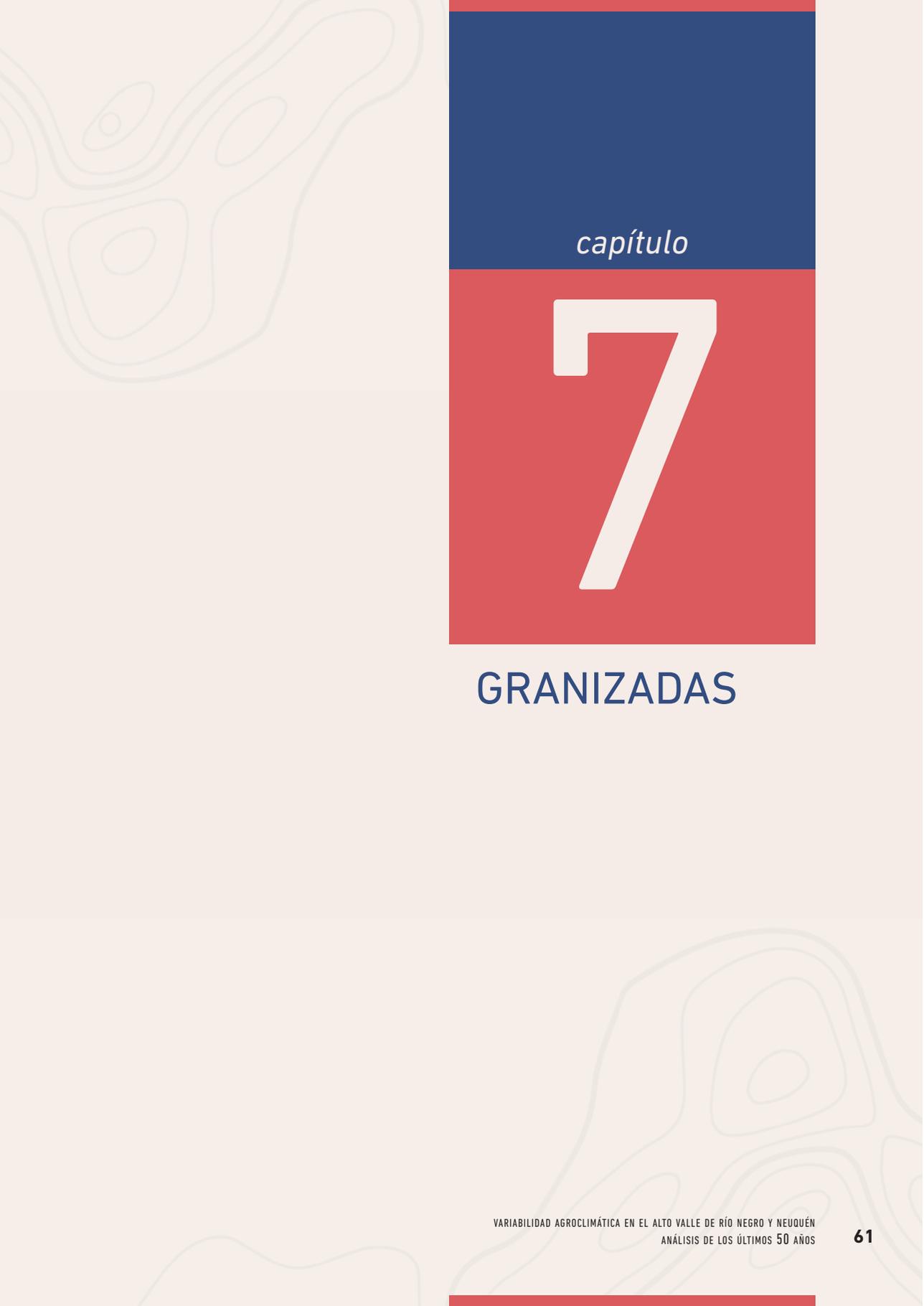
Mapa 6. Distribución regional de lluvia en el mes de noviembre del año 2018

Entre otros, la importancia de la variabilidad pluviométrica espacial radica principalmente en el potencial de desarrollo de ciertas enfermedades relevantes en fruticultura. Es posible visualizar esta respuesta a través de índices bioclimáticos específicos utilizados comúnmente como sistema de alerta para la toma de decisiones, tal como se ejemplifica en el Mapa 7 con el índice de alerta de sarna del manzano y del peral (*Venturia* sp).



Mapa 7. Distribución regional del índice de alerta de desarrollo de sarna (*Venturia* sp.) en frutales (12 de nov. 2020)



A faint, light-colored topographic map of a region is visible in the background, showing contour lines and some circular features. The map is centered on the page and extends across most of the width and height.

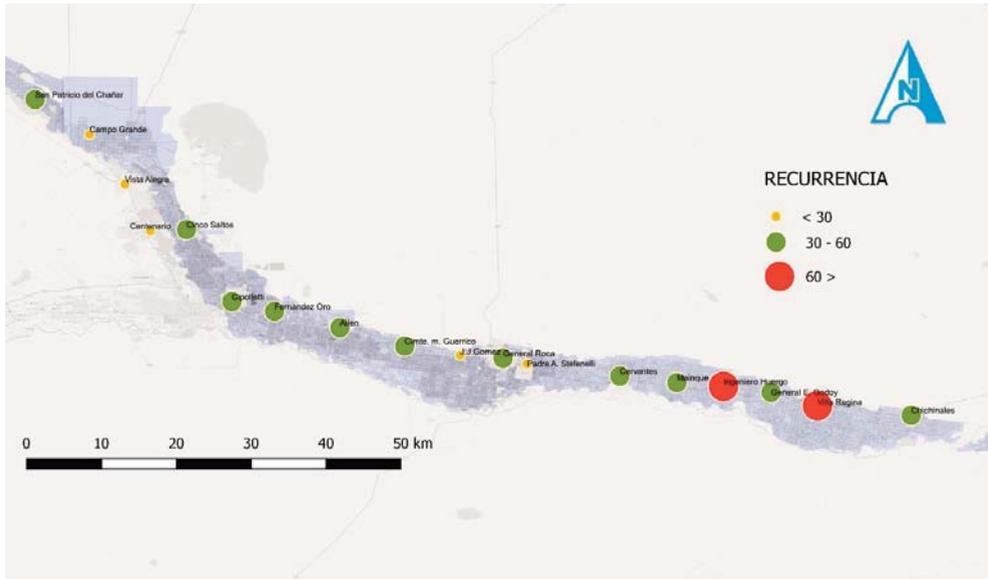
*capítulo*

# 7

## GRANIZADAS

Se ha registrado en la zona, por temporada productiva, una frecuencia media máxima de 4 a 6 granizadas durante los meses de octubre a marzo. En la mayoría de las localidades las granizadas ocurren con mayor frecuencia en el mes de enero y diciembre, momento extremadamente crítico para la producción frutícola dado el desarrollo de los frutos y la proximidad a cosecha.

La distribución en el territorio está asociada principalmente a núcleos de tormentas convectivas y existen zonas con mayor probabilidad de ocurrencia dentro del mismo valle (Mapa 8). La recurrencia es de media a alta para la mayoría de las localidades analizadas.



Mapa 8. Distribución regional de las zonas con mayor recurrencia de granizadas. Los valores en el mapa se expresan de forma porcentual y representan la recurrencia de granizadas en un lapso de registros de 40 años

Del análisis de tres localidades relevantes de la zona de Alto Valle y de acuerdo a los puntos de registro continuo, se destaca el incremento en el número de granizadas en Villa Regina (Tabla 17).

La década del 1968-78 presentó valores de recurrencia medios y homogéneos para las tres localidades analizadas. En las dos décadas siguientes, se observa una disminución de la recurrencia en las localidades del Oeste y centro Oeste y en la década del 2011-21 se observa nuevamente recurrencia media en estas dos zonas. En la zona Este se mantuvo la recurrencia media durante tres décadas y en la última década analizada se manifiesta un incremento importante.

Tabla 17. Recurrencia decádica y cantidad de eventos de granizadas para tres localidades de referencia de la zona del Alto Valle

	Recurrencia			Granizadas totales		
	Cinco Saltos	Clte. Guerrero	V. Regina	Cinco Saltos	Clte. Guerrero	V. Regina
<b>1968-1978</b>	5 de 10	4 de 10	6 de 10	6	7	7
<b>1979-1989</b>	2 de 10	3 de 10	7 de 10	2	4	8
<b>1989-1999</b>	3 de 10	1 de 10	6 de 10	3	1	6
<b>2011-2021</b>	4 de 10	5 de 10	9 de 10	4	6	19

En otros estudios hemos analizado el tipo de granizada considerando la densidad de los impactos por metro cuadrado y el tamaño de la piedra (Rodríguez, A. y Muñoz, A. 2017). En términos generales se consideran tres categorías: leves o grado 1 (diámetro menor a 10 mm, menos de 500 impactos); media o grado 2 (diámetro 10 a 17 mm, de 500 a 2000 impactos) y grave o grado 3 (diámetro mayor a 17 mm, más de 2000 impactos). En función de ello se presenta en esta publicación un índice de severidad correlacionando la recurrencia, el tamaño de la piedra y la cantidad de impactos por unidad de superficie (Mapa 9).



Mapa 9. Severidad de las granizadas en Alto Valle

## CONSIDERACIONES FINALES

Del análisis de variabilidad de las temperaturas medias de aire en los últimos 50 años se visualizan periodos cálidos y fríos marcados. Después del 2005 se manifiestan anomalías negativas cercanas a 1°C por debajo del valor medio histórico. Si bien la tendencia de aumento en las temperaturas máximas medias es poco significativa para el periodo 1970-2019, las temperaturas máximas absolutas tienden a un aumento. La variación de la amplitud térmica en los últimos 50 años es positiva, de 1,07°C, debido a este incremento. En cuanto a la frecuencia de heladas, queda manifiesta una importante variabilidad interanual.

La variabilidad interanual de las temperaturas de primavera verano, indiscutiblemente influye de forma directa sobre la producción condicionando el desarrollo fenológico, el tamaño potencial de los frutos y el desarrollo de plagas y enfermedades.

Las temperaturas invernales tienen un efecto marcado en el desarrollo de los frutales de hoja caduca. La acumulación de frío presenta una importante variabilidad interanual siendo en la región del Alto Valle un factor determinante de la calidad de yemas y estructuras reproductivas de los frutales. Los umbrales definidos regionalmente y presentados en esta publicación permiten la evaluación anticipada del comportamiento fenológico de los frutales a través del índice de horas y unidades de frío.

En cuanto al régimen pluviométrico, el incremento de los días con lluvia en primavera es relevante. La ocurrencia de eventos extremos es sumamente importante basándonos en el registro del año 2018 como evento extremo más significativo de los últimos 50 años.

Con respecto a las granizadas, hacia el Este del Alto Valle se mantuvo la recurrencia media durante tres décadas y en la última década analizada se manifiesta un incremento importante.

## BIBLIOGRAFÍA

- BALLARD, J.; PROEBSTING, E.; TUKEY, R.; MIUS, H. 1971. Critical temperatures for blossom buds. Was.Agr. Ext. Circ. Nos., 369-374.
- PROEBSTING, E.; MILLS, H. 1978. Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103(2): 192-198.
- RODRÍGUEZ A.; BENÍTEZ, E.; MUÑOZ, A. 2018. Tolerancia a las Heladas por Superenfriamiento en Cultivares de Nogal (*Juglans regia*) y Almendro (*Prunus amygdalus*). Revista de Investigaciones Agropecuarias Vol 44, 101-110. <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/ria/issue/view/715>
- TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL DE LA REPÚBLICA ARGENTINA A LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (TCNCC). 2015. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/tercera\\_comunicacion\\_nacional\\_cambio\\_climatico](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/tercera_comunicacion_nacional_cambio_climatico)
- DE ROSSI, R.; FERNÁNDEZ, D.; RODRÍGUEZ, A. 2018. Los veinte puntos clave de los riegos por aspersión y subarbóreo contra las heladas. Publicaciones INTA Alto Valle. <https://inta.gob.ar/documentos/los-veinte-puntos-clave-de-los-riegos-por-aspersion-y-subarboreo-contra-las-heladas>
- RODRÍGUEZ, A.; MUÑOZ, A. 2018. Temperaturas Críticas de yemas de *Vitis vinífera*. <https://inta.gob.ar/documentos/temperaturas-criticas-de-yemas-de-vitis-vinifera-a-distintos-estados-de-desarrollo>
- RODRÍGUEZ, A.; MUÑOZ, A. 2019. Análisis climático de Valle Medio y Río Colorado: Caracterización agrometeorológica y cartografía de suelos. <https://inta.gob.ar/documentos/analisis-climatico-de-valle-medio-y-rio-colorado>
- RODRÍGUEZ, A.; MUÑOZ, A. 2017. Granizo. Estudio de la variabilidad climática en los valles norpatagónicos. Ediciones INTA. Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-987-521-850-5. <https://inta.gob.ar/documentos/granizo-estudio-de-variabilidad-climatica-en-los-valles-norpatagonicos>
- RODRÍGUEZ, A. 2011. Influencia de la temperatura del aire y del raleo sobre el tamaño del fruto de peral (*Pyrus comunnis*) cv Williams durante sus distintas fases de desarrollo. 175 p. Tesis de Magíster en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- MAÑUECO, M.L.; MUÑOZ, M.; MUÑOZ, A.; RAFFO, M.D.; RODRÍGUEZ, A. 2015. Evaluación de la conductancia estomática como indicador de estrés por factores abióticos en frutales de hoja caduca. 38° Congreso Argentino de Horticultura, Bahía Blanca.
- REQUENA, A.M.; MAÑUECO, M.L.; MONTENEGRO, A.; CASTILLO, E. (2016). Coeficientes de cultivos de manzanos y perales en el Alto Valle del Río Negro. Artículo de divulgación, INTA Alto Valle, Centro Regional Patagonia Norte, 5p.
- MAÑUECO M.L.; RODRÍGUEZ, A.; MONTENEGRO, A.; GALEAZZI, J.; DEL BRIO, D.; CURETTI, M.; MUÑOZ, A.; RAFFO, M.D. 2019. Quantification of capillary water input to the root zone from shallow water table and determination of the associated `Bartlett` pear water status. Acta Horticulturae (ISHS). <https://www.ishs.org/symposium/566>

- TASSARA, M.A. 2012. Las heladas primaverales. Protección en frutales de clima templado-frío. Ediciones INTA - EEA Alto Valle. <https://inta.gob.ar/documentos/las-heladas-primaverales-proteccion-en-frutales-de-clima-templado-frio>  
<http://sipan.inta.gob.ar/agrometeorologia/met/met/clima.htm>
- GALLINA, M.; RODRÍGUEZ, A.; MUÑOZ, A. 2005. Índices bioclimáticos para la vid en Contralmirante Guerrico, provincia de Río Negro, República Argentina. Boletín de Divulgación Técnica N° 51, febrero de 2005. INTA. Reedición 2016 en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_indices-bioclimaticos-para-vid-en-alto-valle.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_indices-bioclimaticos-para-vid-en-alto-valle.pdf)
- RODRÍGUEZ, A.; MUÑOZ, Á.; CURETTI, M.; RAFFO, M.D. 2020. Caracterización de riesgo de asoleado en frutales de pepita en función de índices agrometeorológicos locales, para los valles irrigados de la Patagonia norte. Revista de Fruticultura, N°74 marzo/abril, pág. 18-31.
- RAFFO, M.D.; VILLARREAL, P.; RODRÍGUEZ, A.; CURETTI, M.; MOSCHINI S. 2019. Experiencias sobre el uso de mallas antigranizo en fruticultura y análisis económico de la inversión en los Valles de la Norpatagonia. Revista de Fruticultura. N°69 mayo/junio, pág. 6-17.
- CHMIELEWSKI, F.M.; MÜLLER, A.; BRUNS, E. 2004. Climate change and trends in phenology of fruits trees and field crops in Germany, 1961-2000. Agricultural and Forest Meteorology, 121(1-2): 69-78.
- DAPENA DE LA FUENTE, E.; CEBALLOS FERNANDEZ, A. 2006. Estudio del cambio climático y sus implicaciones en el cultivo del manzano en Asturias. Boletín N° 4. Programa de investigación en fruticultura. SERIDA. España. [www.serida.org](http://www.serida.org).
- RODRÍGUEZ, A.; MUÑOZ, A.; CURETTI, M.; RAFFO, M.D. 2020. Impacto de la variabilidad climática estacional en la fenología de pera (*Pyrus communis* L.) cv. Williams en Río Negro-Argentina. Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia (2020) 36(2): 129-139. ISSN 0719-3882 print /ISSN 0719-3890 online.
- IANNAMICO, L. 2015. Cultivo de Almendro. Ediciones INTA ([www.inta.gob.ar/altovalle](http://www.inta.gob.ar/altovalle)).
- PASCALE, A.; DAMARIO, E. 2004. Bioclimatología agrícola y Agroclimatología. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. ISBN 950-29-0822-8. 550pp.
- RIU, N.; SETTEPANI, V. 2004. Requerimiento hídrico en álamos de 6 años. Rivadavia, Mendoza (Argentina). Rev. FCA UNCuyo. Tomo xxxvi. N° 1. Año 2004. 63-68 [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/158/riuAgrarias1-04.PDF](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/158/riuAgrarias1-04.PDF)
- RODRÍGUEZ, A.; THOMAS, E.; CANCIO, H.; MENNI, F. 2014. Evaluación de tecnologías alternativas de manejo para disminuir los daños causados por el viento en frutos de pera Williams en el alto valle. RIA Vol. 40 n° 2, p. 208-212.
- THOMAS, E.; RODRÍGUEZ, A. 2014. Barreras rompevientos con álamos y sauces. Edición INTA. P 3-7 (ISBN 978-987-521-537-5).
- GIL, G.; NAVARRO, A.; KULCZEWSKI, M. 1988. Relación entre viento y ruginosidad de ciruelas. Rev. Frut. Coopefrut (Chile) 9 (2):35-36.

# ANEXO



## ANÁLISIS DE VARIABILIDAD INTERANUAL DE GRADOS DÍAS PARA *CYDIA POMONELLA* (CARPOCAPSA) EN EL ALTO VALLE DE NEUQUÉN Y RÍO NEGRO

En el siguiente apartado se muestra el comportamiento histórico desde el análisis agro-meteorológico de alertas de desarrollo de carpocapsa, plaga clave en la fruticultura regional. El desarrollo biológico de la plaga es condicionado principalmente por la temperatura del aire. En base a esto se han desarrollado índices bioclimáticos locales que permiten monitorear la evolución de la plaga y ajustar estrategias de control. Los 90 grados días (primeros vuelos de adultos provenientes de estados invernantes) y los 250 grados días (nacimiento de las primeras larvas neonatas de carpocapsa) son las dos primeras alertas de cada temporada productiva (Figura A-1) (Cichón, L. y Fernández, D., 2012) - <https://inta.gob.ar/documentos/fruticultura-diversificacion-no-47>



Figura A-1. Ciclo estacional de carpocapsa-Cita: sector de Sanidad Vegetal, EEA Alto Valle. Responsable técnico Ing. Agr. Garrido, Silvina

La fecha media de ocurrencia en el Alto Valle de los 90°D es el 23 de septiembre, con un desvío estándar de +/- 6 días. En el caso del cumplimiento de los 250°D la fecha media es el 22 de octubre, con un desvío estándar de +/- 5 días (serie 1980-2020). En las figuras A-2 y A-3 se observa la variabilidad interanual de la ocurrencia de estas alertas a través de las anomalías, expresadas en días con respecto a la fecha media. Algunas temporadas marcan valores extremos; para los 90°D, como por ejemplo en las temporadas 2013-14 y 1997-98 con adelantos superiores a 10 días.

Para los 250°D por ejemplo en la temporadas 2016-17 se observa un retraso mayor a 10 días y en 1996-97 un adelanto superior a 10 días. La media móvil permite ver la presencia de algunos ciclos con atrasos y adelanto de las alertas. Con respecto a los 250°D por ejemplo, se observa que a fines de la década de los 90 y principios de los 2000 era más frecuente un adelanto, comportamiento que coincide con un aumento en las temperaturas medias analizado en capítulos anteriores. En la última década, es más marcada la variabilidad interanual, pero se registran algunos atrasos mayores al desvío, de 5 a 10 días. En el periodo analizado 1980-2020, no se presentan tendencias de cambios en la fecha media de ninguna de las dos alertas.



Figura A-2. Anomalia histórica de carpogrados para el cumplimiento de los 90°D

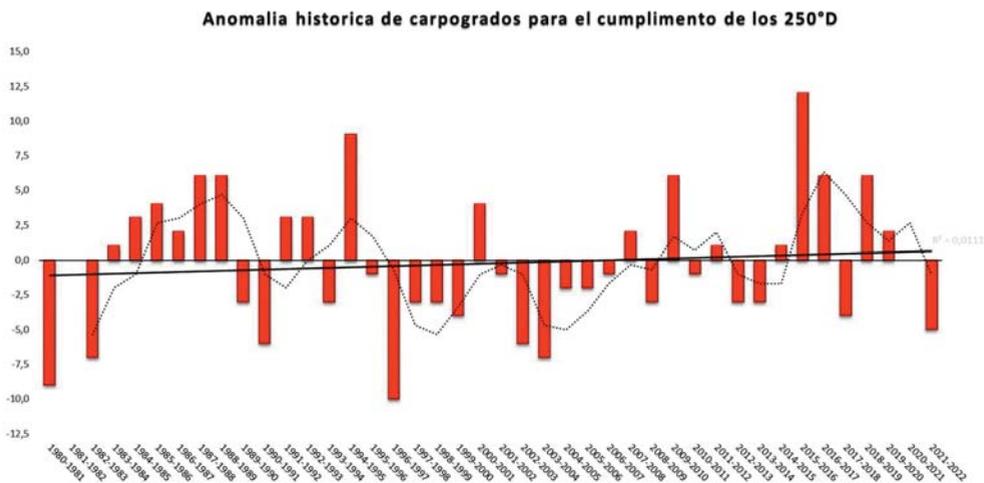


Figura A-3. Anomalia histórica de carpogrados para el cumplimiento de los 250°D

En la actualidad existe una creciente demanda de datos climáticos confiables para conocer sus efectos sobre diferentes actividades humanas, evaluar los riesgos de desastre, la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos.

Específicamente, los datos agrometeorológicos permiten determinar la aptitud agropecuaria de una región como la norpatagónica, que tiene características ambientales propias. El estudio de la variabilidad espacial y temporal de dichas características constituye una herramienta estratégica para la planificación y el manejo de los actuales sistemas agrícola-ganaderos y para evaluar la factibilidad de opciones de diversificación de cultivos u otras actividades productivas.

El efecto ambiental y socioprodutivo de la variabilidad del clima es fundamental en el desarrollo productivo de los valles irrigados de la norpatagonia. La fluctuación interanual de temperaturas y precipitaciones regula el 80 % de la respuesta de los cultivos en términos de calidad y cantidad de producción



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
**Argentina**