

# Aptitud agroclimática actual y potencial de la región patagónica para el cultivo de nogal (*Juglans regia* L.) en un contexto de cambio climático

Brendel A.S.; F. Mora y R.A. del Barrio

## RESUMEN

La evaluación de la aptitud actual y potencial de la región Patagónica Argentina para cultivo de nogal (*Juglans regia* L.), es un elemento imprescindible para conocer la posibilidad de expansión de su cultivo, teniendo en cuenta los factores del cambio climático en la región. El objetivo de la presente investigación fue evaluar los cambios temporales de índices térmicos climáticos y agroclimáticos en la región central y norte de la Patagonia, con el fin de establecer una primera aproximación a la determinación de su aptitud actual y potencial para el cultivo de nogal, en un contexto signado por el cambio climático. La metodología incluyó el análisis de siete índices climáticos y tres agroclimáticos con datos meteorológicos de 11 estaciones ubicadas en la región centro y norte de la Patagonia argentina. Para analizar la tendencia de dichos índices se aplicó el test de Mann Kendall y para cuantificar la pendiente, el método de Sen. El período evaluado fue 1970-2016 y además, con el objeto de comparar los últimos decenios sobre la base cambios observados en la circulación regional, se subdividió esta serie en los años 1997-2016. Los resultados indicaron un aumento general de las disponibilidades térmicas regionales, que, por ejemplo, en el caso de la temperatura media anual fue de 0,8 °C para el período 1970-2016 mientras que para el subperíodo 1997-2016 fue de 0,6 °C. A partir de los incrementos térmicos registrados en esta investigación así como, los previstos por los modelos climáticos a futuro, se podría considerar a la región centro y norte de la Patagonia como un área de gran potencial para el cultivo de nogal y a su vez se considera que la expansión del cultivos se podría extender hacia áreas cordilleranas y de valles del centro sur de la región.

**Palabras Clave:** Región Patagónica, factibilidad agroclimática, frutales de frutos secos, horas de frío, requerimientos de calor.

Brendel A.S.; F. Mora and R.A. del Barrio 2017. Current and potential aptitude of Patagonian region for walnut cultivation (*Juglans regia* L.) in a climate change context. RADA VIII: 15-27

## SUMMARY

The evaluation of the current and potential aptitude of English walnut (*Juglans regia* L.) crop in the "Patagónica Argentina" is an essential element to know it's possible spatial expansion considering the factors of climate change in the region. The aim of this investigation was to evaluate the temporal changes of

climatic and agroclimatic temperature indices in the central and northern region of Argentinean Patagonia with the aim of establishing a first approximation to the determination of their current and potential aptitude for walnut cultivation, in a context marked by climate change. The methodology included the analysis of 7 climates and 3 agroclimatic indices, from meteorological data of the study area. To analyze the trend Mann Kendall test was applied and to quantify the slope, Sen's method was used. The study period was 1970-2016 and also with the aim to compare recent decades on changes observed in atmospheric circulation, time series was divided in 1997-2016. The results indicated general increases of regional thermic availabilities, that as an example in the case of annual mean temperature was 0.8 °C for the 1970-2016 period, while for the 1997-2016 was 0.6 °C. From the increases thermal registered in this investigation, as well as those thrown by future climate models, the central and northern Patagonia region, could be positioned as an area of great potential for walnut cultivation and also, in turn, expansion of this species could be extended towards mountainous areas and valleys of the south-central region.

**Key words:** Patagonian region, agroclimatic feasibility, nut fruit trees, chills hours, heat requirements.

*A.S. Brendel, Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía, San Andrés 800, Bahía Blanca, Argentina. Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Bahía Blanca, Argentina. Florida 8000 (Camino La Carrindanga km 7,5) Complejo CCT CONICET Edificio E1Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 12 de Octubre 1198, 4° piso, Bahía Blanca, 8000, Argentina. F. Mora Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía. R.A. del Barrio, Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía. Universidad Nacional de Río Negro. Sede Atlántica. Don Bosco y Echandi, Viedma, Argentina. Correspondencia a: andreabrendeluns@gmail.com*

## INTRODUCCIÓN

El clima, componente esencial del medio geográfico, presenta desde la era preindustrial y fundamentalmente, en las últimas décadas, condiciones de variabilidad o cambio, no asignables a razones naturales (Gil Olcina y Olcina Ocampos, 2017). El escenario de cambio climático por efecto invernadero cuenta con un hecho irrefutable: En los últimos cien años la temperatura media de la Tierra ha subido 0,8 °C y el incremento previsto para el corriente siglo cuanto menos lo duplica (IPCC, 2013). Por ello, el cambio climático resulta uno de los tópicos más estudiados en las últimas décadas debido a sus implicancias ambientales, biológicas y socio económicas El impacto del mismo afecta desde las actividades agropecuarias, la disponibilidad de agua, la salud humana, hasta la

estabilidad política regional. La agricultura y sus actividades relacionadas como el riego, la fertilización o la selección del sitio de cultivo pueden ser altamente afectadas por cambios a mediano y largo plazo en los patrones de temperatura y precipitación regionales (Fernández Long *et al.*, 2013). Según el informe sobre Tendencias y Proyecciones del Cambio Climático en Argentina, desarrollado en la Tercera Comunicación Nacional sobre el tema para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático por el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (SAyDS, 2014), en la mayor parte de la Argentina continental no patagónica hubo un aumento de temperatura de hasta medio grado entre 1960 y 2010, mientras que en la Patagonia el aumento de temperatura fue mayor que en el resto del país, llegando en algunas zonas a superar 1 °C, donde la temperatura máxima tuvo

un aumento mayor que la mínima

Por otra parte, Cabré *et al.* (2016) evaluaron las proyecciones de cambio climático del modelo regional MM5 para fines del siglo XXI en el escenario de emisión SRES A2 en el sur de Sudamérica. La distribución espacial y los cambios estacionales proyectados en temperatura de superficie para finales del siglo XXI (2080-2099) para la región Patagónica contemplan aumentos de hasta 3 °C al sur de los 40 ° Latitud Sur (LS), particularmente en el verano. Los autores concluyeron que el modelo MM5 es una herramienta de mucha utilidad para la generación y evaluación de escenarios regionales de cambio climático en el sur de Sudamérica, en especial para la temperatura.

### Área de estudio

#### Características geo-climáticas

La Patagonia argentina es una región ubicada al sur de los ríos Barrancas-Colorado, desde los 39° hasta los 55° LS. Orográficamente incluye la Cordillera de los Andes, las planicies, mesetas y serranías comprendidas entre los Andes y el Océano Atlántico (León *et al.*, 1998). Esta región integra las eco-regiones de llanuras y mesetas, estepa, monte y bosques patagónicos, presentando contrastes marcados en la estructuras de vegetación natural.

El régimen de precipitaciones varía considerablemente desde los bosques andinos con régimen invernal de lluvias y la región extra andina dominada por estepas áridas y semiáridas (Fabricante *et al.*, 2009). Dentro de esta última, se encuentra el área de estudio denominada centro norte de la Patagonia que comprende el sur de la provincia de Buenos Aires, las provincias de Río Negro, Neuquén y Chubut (Figura 1).

El clima de esta amplia región es templado a templado frío. Está dominado por las masas de aire provenientes del Océano Pacífico y por una circulación de vientos moderados a fuertes del cuadrante oeste (Coronato, 1993). El desplazamiento estacional de los centros de alta y baja presión sobre el Pacífico y las corrientes oceánicas costeras con dirección ecuatorial, así como la presencia de la Cordillera de los Andes, determinan los patrones estacionales de la precipitación (Paruelo *et al.*, 1999). Las isotermas tienen una distribución noreste-sudoeste debido al efecto combinado de la latitud, la altitud y la circulación regional. Las temperaturas medias anuales varían de 8 a 14 °C, presentando fluctuaciones de las temperaturas medias del mes de enero que oscilan entre 14 y 22 °C y las del mes de julio que fluctúan entre 2 y 8 °C (Murphy, 2008). En estas regiones, la variación interanual del clima representa una componente

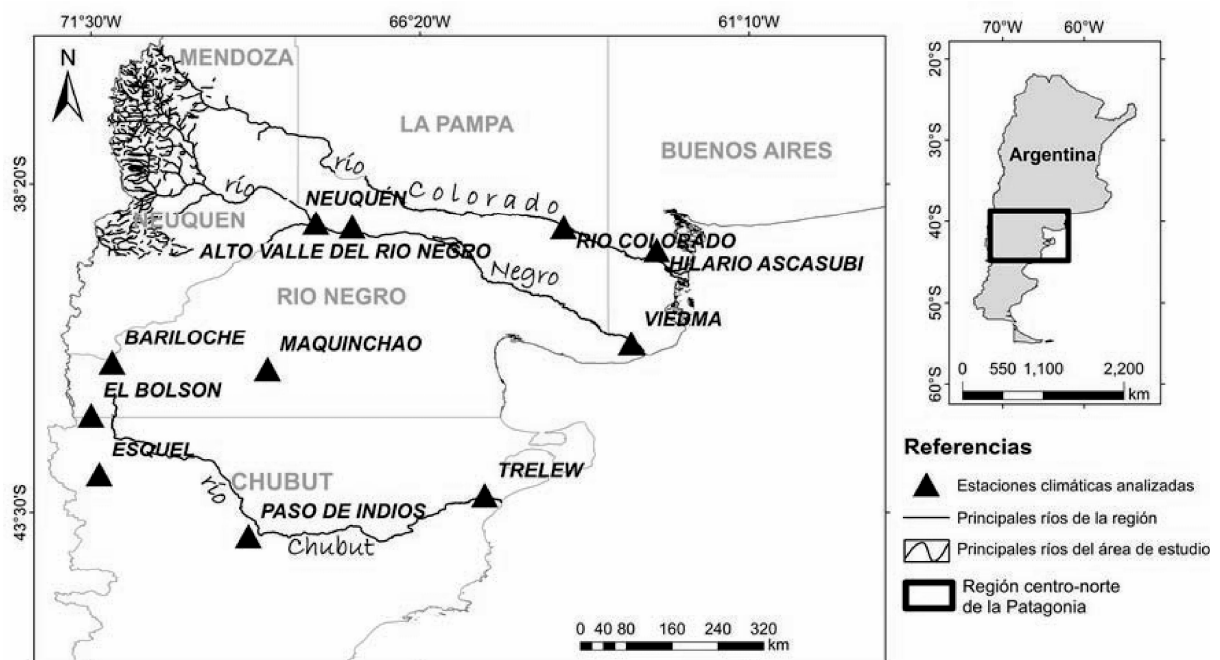


Figura 1. Ubicación de la región centro norte de la Patagonia argentina y de las estaciones climáticas que se analizaron.

intrínseca del sistema y constituye el principal factor de riesgo sobre la aptitud agroclimática considerada. (Barbero *et al.*, 2008).

#### Antecedentes de cultivos en el área de estudio

La zona norte y centro de la Patagonia presenta mesetas áridas y semiáridas surcadas por tres cuencas hidrográficas: Barrancas-Colorado (~39° LS), Neuquén-Limay-Negro (~40° LS) y Chubut (~43° LS). En los valles de las cuencas hídricas, se han llevado a cabo producciones agropecuarias intensivas bajo riego con distintos niveles de desarrollo: predominando la producción fruti-horticultura en los valles de las dos primeras cuencas y el cultivo de pasturas con destino ganadero y/o de producción de pasto y la fruticultura de cerezas en el valle inferior del Chubut. La principal zona de cultivos comprende alrededor de 130.000 ha frutícolas intensivas en el valle superior del río Negro y de los valles inferiores de los ríos Limay y Neuquén, en las provincias de Río Negro y Neuquén. Allí se concentra el 85% de la producción argentina de manzana y el 75% de pera (Alvaro, 2008; de Jong, 2008).

La producción de frutos secos, entre ellos el nogal (*Juglans regia* L.) fue durante muchos años de menor importancia o marginal en las áreas frutícolas de los valles patagónicos, en particular en el valle del río Negro y en menor cuantía en el valle del río Colorado (Bouhier, 2005; del Barrio y Martín, 2010; Iannamico, 2004; 2009). Las zonas tradicionalmente productoras de nueces abarcan las provincias de Catamarca, Mendoza, La Rioja y San Juan, ubicadas en el noroeste del país entre la latitud 28° a 32° S con temperaturas medias anuales entre 19 y 21 °C. Estas cuatro provincias concentran algo más del 90 % de la producción nacional que llega en la actualidad a las 16.000 ha bajo cultivo. Al iniciar el siglo XXI se produce un corrimiento de la frontera productiva del nogal hacia la zona nor-patagónica (provincias de Río Negro y Neuquén entre los 39° y 41° lat. sur-) sobre la base de cultivares de origen californiano, principalmente 'Chandler', más precoz en su entrada en producción y con altas expresiones de rendimiento, pero de brotación y floración más tempranas que los franceses, en especial 'Franquette', utilizadas con anterioridad en la región. Esta situación ha llevado a múltiples inconvenientes de los productores debido a los recurrentes daños por ocurrencia de heladas tardías en los montes de cultivar 'Chandler'. Actualmente la provincia de Río Negro tiene una superficie implantada de casi 1.600 hectáreas distribuidas aproximadamente en tercios entre los valles inferior, medio y alto del río Negro y escasa

superficie en el valle medio y alto valle del río Colorado. La provincia de Neuquén contribuye con alrededor de 400 ha distribuidas en los valles inferiores de los ríos Limay y Neuquén (Iannamico, 2015). Estas iniciativas de cultivo convertirían a la producción nogalera en una alternativa productiva dinámica y en crecimiento en una región tradicionalmente dedicada al cultivo de pomáceas. Sin embargo, si bien los valles de las cuencas de los ríos Negro y Colorado pueden resultar en principio, agroclimáticamente aptos para el cultivo de nogal, la máxima expresión productiva y por ende económica de la especie resulta condicionada por el cultivar utilizado, sus requerimientos de frío invernal, de calor primavera-estival que está asociado a los riesgos de los posibles daños ocasionados por heladas tempranas y/o tardías en relación a las disponibilidades climáticas regionales (del Barrio *et al.*, 2015). Por otra parte, en la zona Andina (El Bolsón – Río Negro-, Epuyén, El Hoyo –Chubut-) y en el valle inferior del río Chubut se comenzó a implantar, en los últimos años, pequeñas superficies con nogales con fines productivos, siendo todas las superficies cultivadas provistas de riego artificial, (Eduardo Martínez, 2016, comunicación personal), a pesar de ser áreas con limitantes agroclimáticas aún mayores a las tratadas anteriormente.

El cultivo de nogal requiere una suma de temperaturas acumuladas entre yema hinchada y madurez a cosecha de 1300 a 1700 grados día, base 10 °C según el cultivar considerado (Villaseca, 2004; 2007) mientras que la acumulación de frío invernal necesaria para una adecuada ruptura de la dormición e inicio de la brotación de las yemas en primavera presenta un rango varietal de 300 a 1500 horas de frío (Muncharaz Pou, 2012). El aumento de las disponibilidades térmicas es un factor de primer orden como catalizador de modificaciones en el comportamiento fenológico tanto en cultivos como en vegetación natural (Campoy *et al.*, 2011; Legave *et al.*, 2013; Funes *et al.*, 2016), aunque esta plasticidad fenológica presenta límites según la especie y variedad o cultivar considerado (Duputie *et al.*, 2015). La previsión y anticipación a estos posibles cambios permitiría, por ejemplo en el caso de la nogalicultura, el ajuste cultivar-sitio de producción al agroclima regional tanto actual como potencial (Luedeling, 2012; Luedeling *et al.*, 2015). En este sentido, su estudio es fundamental debido a que las incrementales térmicas a mediano y largo plazo permitirían consolidar los valles irrigados del norte patagónico como áreas de gran potencial para el cultivo de nogal en un espectro fenológico-varietal mucho más amplio que el actual y a la vez, expandir la frontera agropecuaria de

éste y otros cultivos hacia las zonas cordilleranas y los valles del centro sur de la región.

El objetivo de esta investigación es evaluar los cambios temporales de índices térmicos climáticos y agroclimáticos en la región central y norte de la Patagonia con el fin de establecer una primera aproximación a la determinación de su aptitud actual y potencial para el cultivo de nogal en un contexto signado por el cambio climático.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización climática y agroclimática del área de estudio se utilizó información climática, cedida por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de 11 estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la zona de estudio. (Tabla 1).

**Tabla 1.** Estaciones meteorológicas, latitud (Lat), longitud (Lon), elevación (m).

Estación Meteorológica	Lat (S)	Lon (W)	Elevación (m)
Paso de Indios	-43.87	-69.03	590
Maquinchao	-41.25	-68.73	887
Esquel	-42.90	-71.37	787
El Bolsón	-41.97	-71.50	337
Bariloche	-41.15	-71.17	840
Rio Colorado	-39.02	-64.08	79
Trelew	-43.23	-65.30	10
Viedma	-40.85	-63.02	7
Hilario Ascasubi	-39.38	-62.62	22
Neuquén	-38.95	-68.13	271
Alto Valle	-39.01	-67.40	242

El parámetro analizado fue temperatura y a partir del mismo se calcularon i) siete índices climáticos: temperatura media anual, temperatura media, máxima media y máxima absoluta del mes de enero; y temperatura media, mínima media y mínima absoluta del mes de julio; ii) tres índices agroclimáticos basados en variables térmicas: Sumas térmicas siguiendo la metodología de Lindsay y Newman (1956), llevada a su expresión climática mensual (Pascale y Damario, 2004) para el período agosto-octubre(a) y agosto-marzo(b)

$$\sum T_{LN}: 0,5(tM-tb)^2 / (tM-tm) \quad (a) \quad (b)$$

donde tM es la temperatura máxima media mensual, tm es la temperatura mínima media mensual y tb es la temperatura base (10 °C) y las horas de frío (HF) invernales mediante la estimación de

Weinberger (1950) que establece una correlación entre HF (temperaturas horarias < 7,2 °C) y las temperaturas medias mensuales de junio y julio (c), presentando resultados aceptables para comparaciones geográficas en áreas templadas frías como la presente (Gil-Albert, 1989).

$$HF=2124,95-125,23*((tJn + tJl)/2) \quad (c)$$

donde tJn es la temperatura media de Junio y tJl es la temperatura media de Julio.

En la selección de los índices se siguieron los criterios generales de Xiao *et al.* (2013) para la caracterización de áreas aptas para el cultivo de nogal.

Debido a la disponibilidad de datos climáticos y agroclimáticos existentes, el período de estudio fue 1970-2016. Con el objeto de comparar los últimos decenios con la serie completa se seleccionó un sub-período que comprendió los años 1997-2016. Para evaluar la tendencia de estos 10 parámetros climáticos y agroclimáticos se utilizó el test no paramétrico de Mann Kendall (1945) y para cuantificar esa tendencia el estimador de pendiente de Sen (1968) en el software R Studio. La aplicación del test de Mann-Kendall para una serie de n datos independientes e idénticamente distribuidos supone que la hipótesis nula no debe ser rechazada. La hipótesis nula (H0) y alterna (Ha) para cada una de las estaciones de análisis son: H0: no se presenta una tendencia lineal en la serie Ha: hay una tendencia lineal en la serie. La prueba de Mann Kendall se mide con el estadístico Tau-b de Kendall. Si dicho valor es positivo entonces la serie presenta una tendencia positiva y si ese valor es negativo la serie posee una tendencia negativa. La tendencia es significativa si el valor del p-valor es <0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Análisis de los índices climáticos

#### 1.1. Temperatura media anual

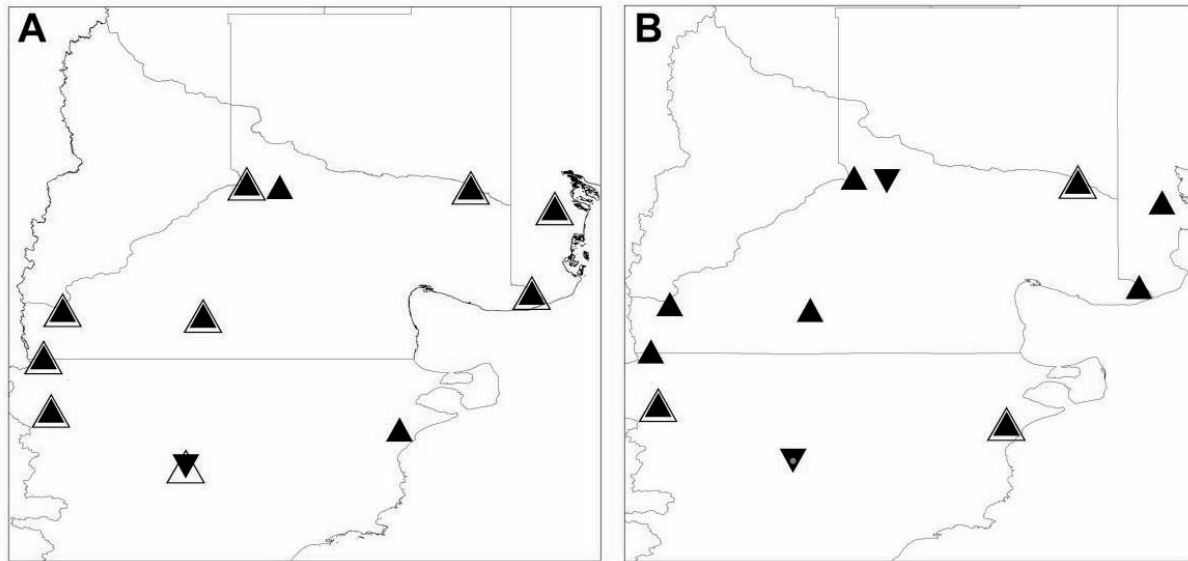
Durante el período de estudio (1970-2016) la temperatura media anual mostró una tendencia creciente a medida que se avanza en el tiempo hacia la actualidad, en 10 de las 11 estaciones estudiadas; en nueve de las cuales el aumento fue estadísticamente significativo mostrando incrementos térmicos en un rango de 0,1 a 0,3 °C cada 10 años (Figura 2a). Estas tendencias se sostienen o aumentan cuando consideramos el subperíodo 1997-2016, pero en este caso, presentado aumentos de temperaturas medias anuales de 0,5 a 0,9 °C cada 10 años. En este subperíodo, sólo se ob-

servaron tres localidades estadísticamente significativas (Figura 2b).

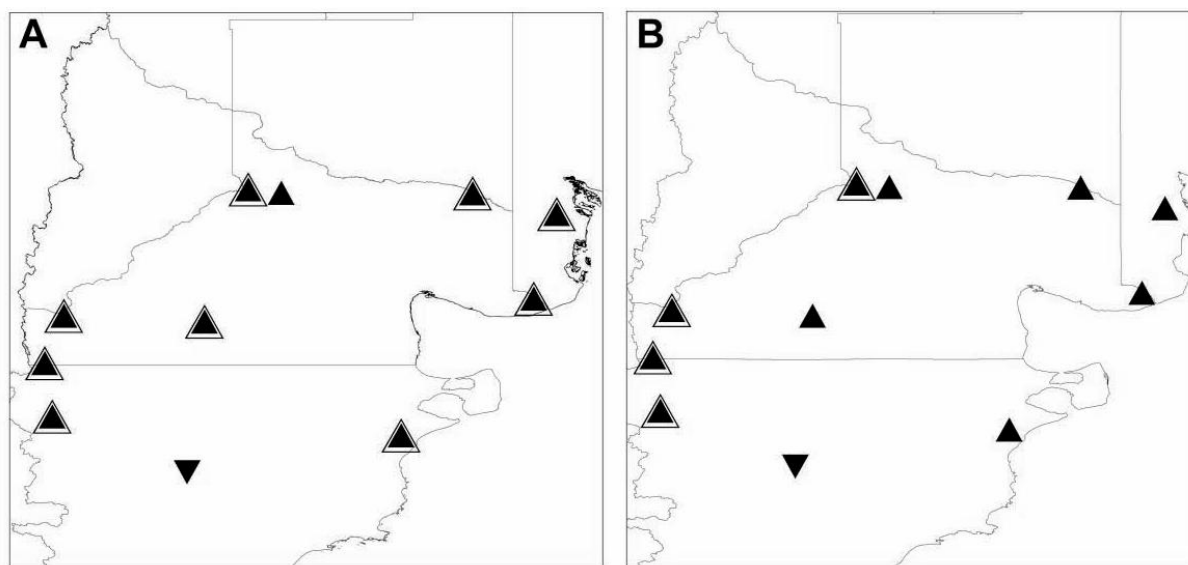
### 1.2. Temperatura media del mes de enero

La tendencia de esta variable fue positiva en diez de las 11 estaciones analizadas de las cuales nueve fueron estadísticamente significativas, para

el período 1970-2016. Estas estaciones presentaron aumentos térmicos que oscilaron entre 0,3 y 0,8 °C cada 10 años (Figura 3a). La tendencia también fue positiva para el período menor (1997-2016) pero sólo fue estadísticamente significativa en cuatro estaciones del total estudiado. En este caso, la temperatura mostró incrementos que variaron entre 0,6 y 1,5 °C cada 10 años (Figura 3b).



**Figura 2.** Tendencia de la temperatura media anual para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas. Los triángulos en sentido descendente significan que la tendencia fue negativa mientras que los ascendentes, positiva. A su vez, las líneas que rodean los triángulos indican significancia estadística. Esta simbología es similar para todas las figuras (3 a 11).



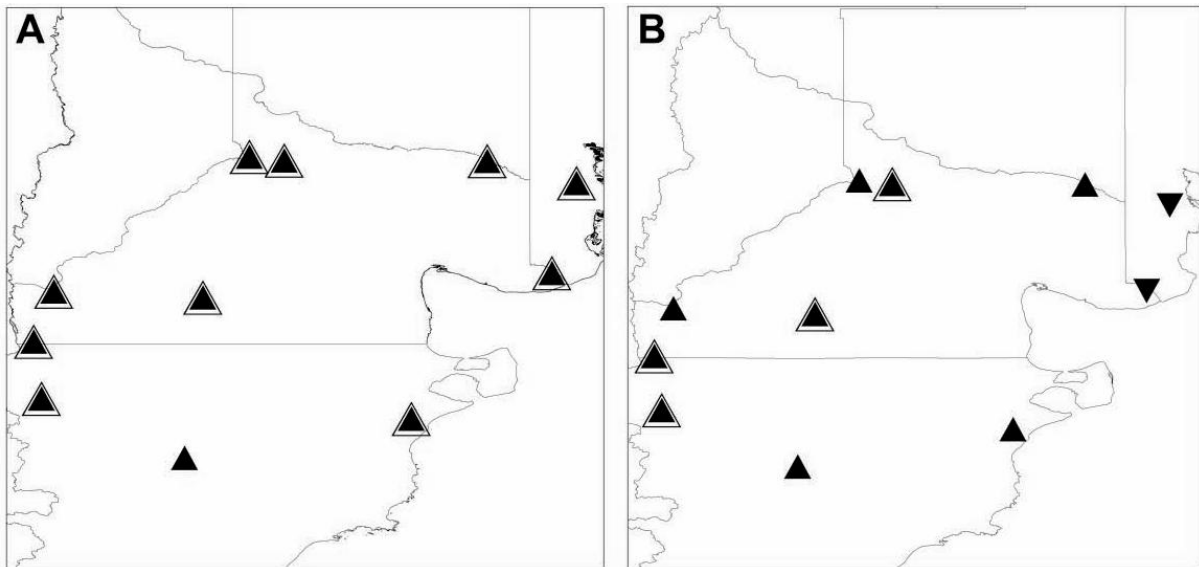
**Figura 3.** Tendencia de la temperatura media del mes de enero para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

### 1.3. Temperatura máxima media del mes de enero

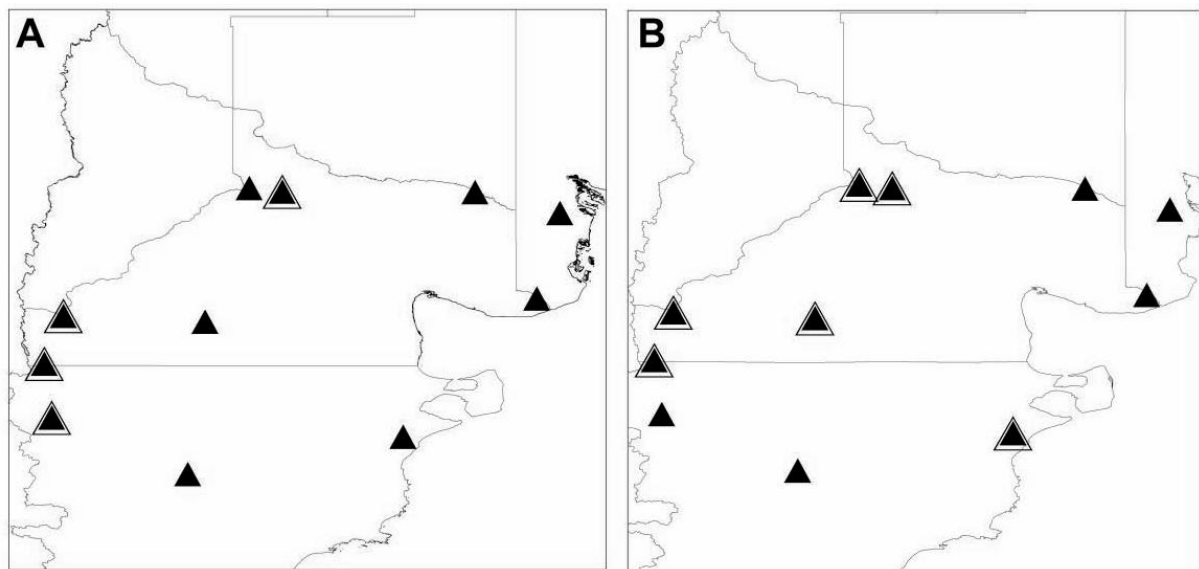
Esta variable mostró una tendencia ascendente en todas las localidades estudiadas siendo significativo en diez de las 11, con gradientes que fluctuaron de 0,3 a 0,8 °C cada 10 años (Figura 4a). En los últimos 20 años de la serie estudiada (1997-2016), nueve localidades presentaron una tendencia positiva (cuatro estadísticamente significativas) con valores que oscilaron entre 0,1 y 2,3 °C cada 10 años (Figura 4b)

### 1.4. Temperatura máxima absoluta del mes de enero

Para esta variable climática las 11 localidades presentaron tendencia ascendente tanto en la serie completa (Figura 5a) como en los últimos 20 años (Figura 5b). En el primer caso con gradientes que oscilaron entre 0,1 y 0,8 °C cada 10 años (cuatro estaciones estadísticamente significativas) mientras que en el segundo caso fluctuaron de 0,3 °C a 3,4 °C cada 10 años con significancia en seis de las mismas.



**Figura 4.** Tendencia de la temperatura máxima media del mes de enero para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.



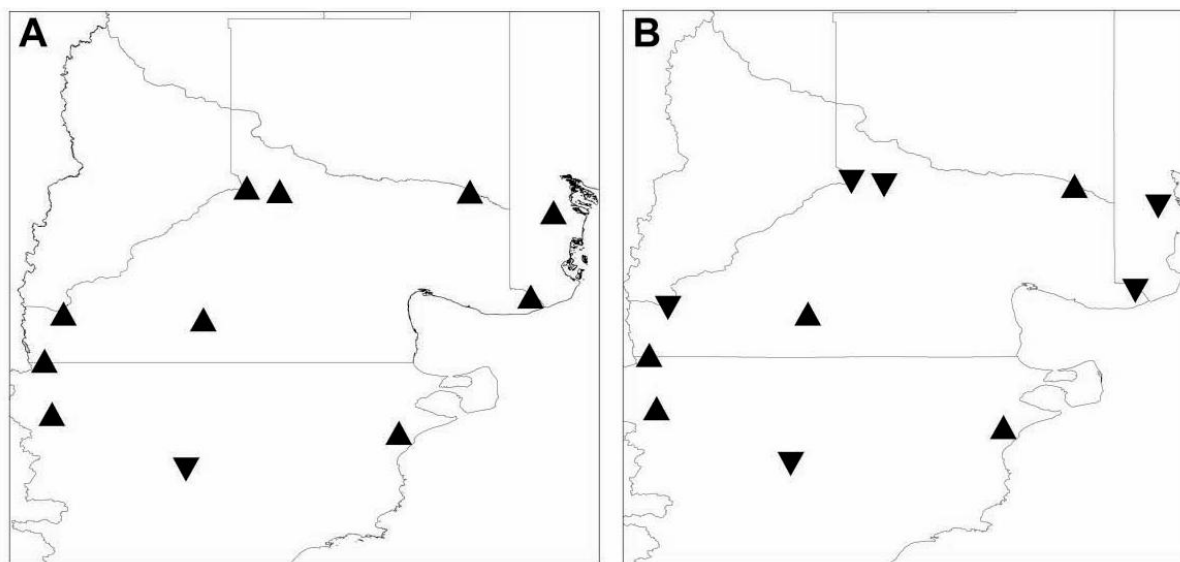
**Figura 5.** Tendencia de la temperatura máxima absoluta del mes de enero para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

### 1.5. Temperatura media del mes de julio

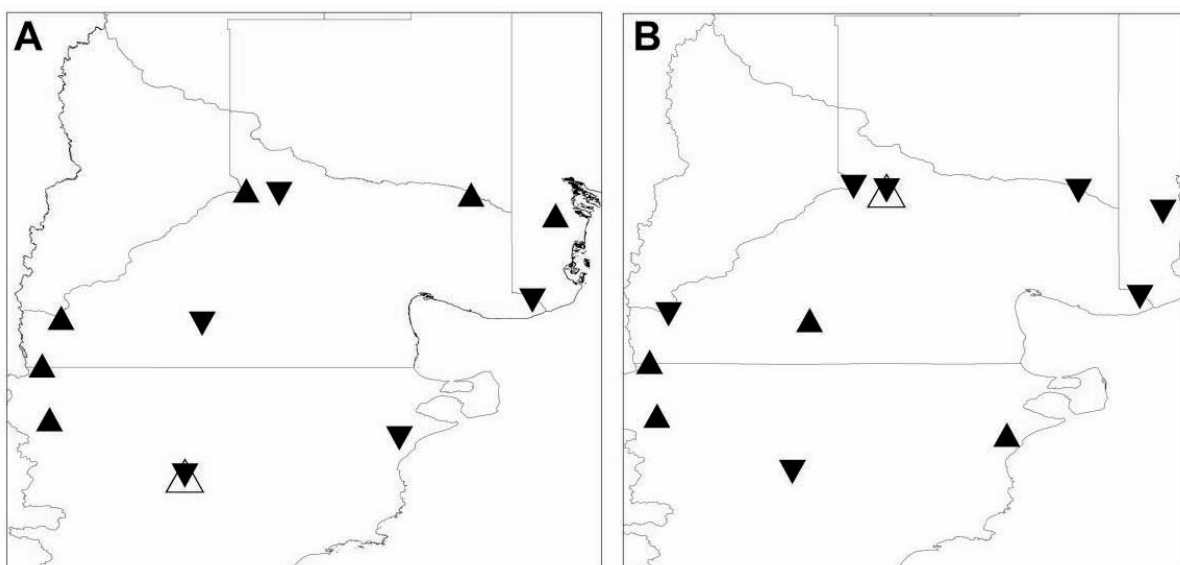
Esta variable mostró una tendencia positiva en 10 de las 11 estaciones analizadas para el período 1970-2016 y ninguna fue estadísticamente significativa. Los valores de temperaturas observados aumentaron entre 0 y 0,2 °C en un lapso de 10 años (Figura 6a). Durante 1997-2016, se registró una mayor cantidad de estaciones con tendencias negativas que positivas (seis del total analizado) y no se encontró significancia estadística en ninguna de las estudiadas con fluctuaciones entre -0,5 y 0,6 °C cada 10 años (Figura 6b).

### 1.6. Temperatura mínima media del mes de julio

En el caso de esta variable climática, para la serie completa, las tendencias fueron diferentes según la estación considerada, positivas en seis estaciones (una estadísticamente significativa) y negativas en las cinco restantes (sólo una significativa) (Figura 7a). Cuando se consideran los últimos 20 años la tendencia positiva se mantuvo en cuatro localidades (ninguna estadísticamente significativa) mientras que las siete restantes presentaron un gradiente decreciente, que resultó significativo sólo en una localidad (Figura 7b).



**Figura 6.** Tendencia de la temperatura media del mes de julio para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas



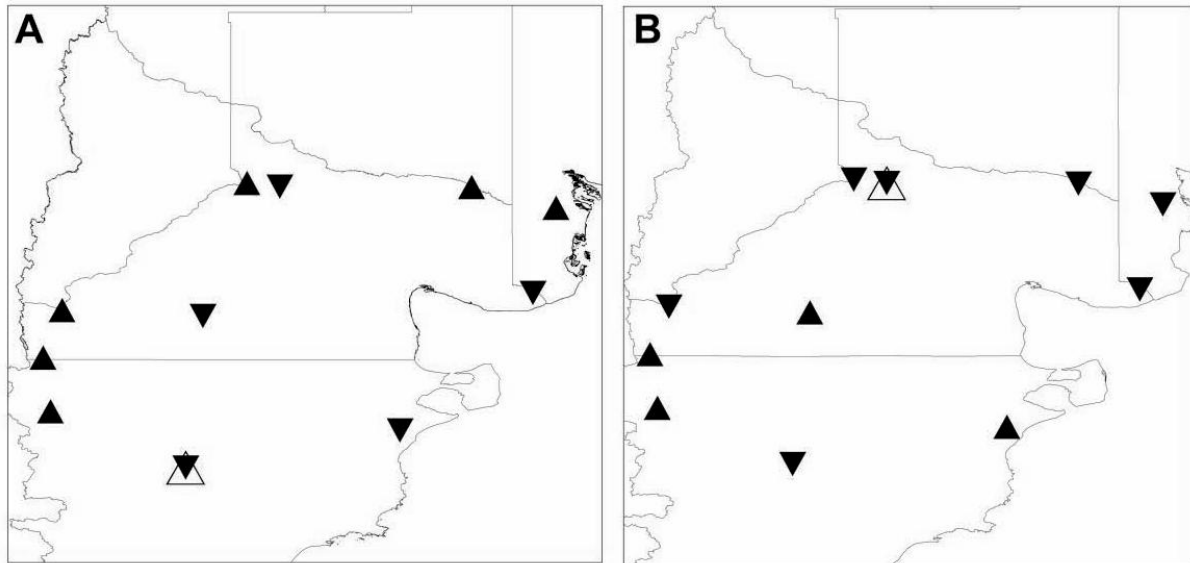
**Figura 7.** Tendencia de la temperatura mínima media del mes de julio para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.



### 1.7. Temperatura mínima absoluta del mes de julio

Considerando la serie completa, en este parámetro se observó un gradiente positivo o neutro en seis localidades (significativo sólo en una localidad) y una tendencia negativa no significati-

va en las cinco restantes (Figura 8a). Cuando se analizan los últimos 20 años sólo permanecieron cuatro localidades con gradientes positivos (una estadísticamente significativa) y las restantes siete estaciones con tendencias negativas (una estadísticamente significativa) (Figura 8b).



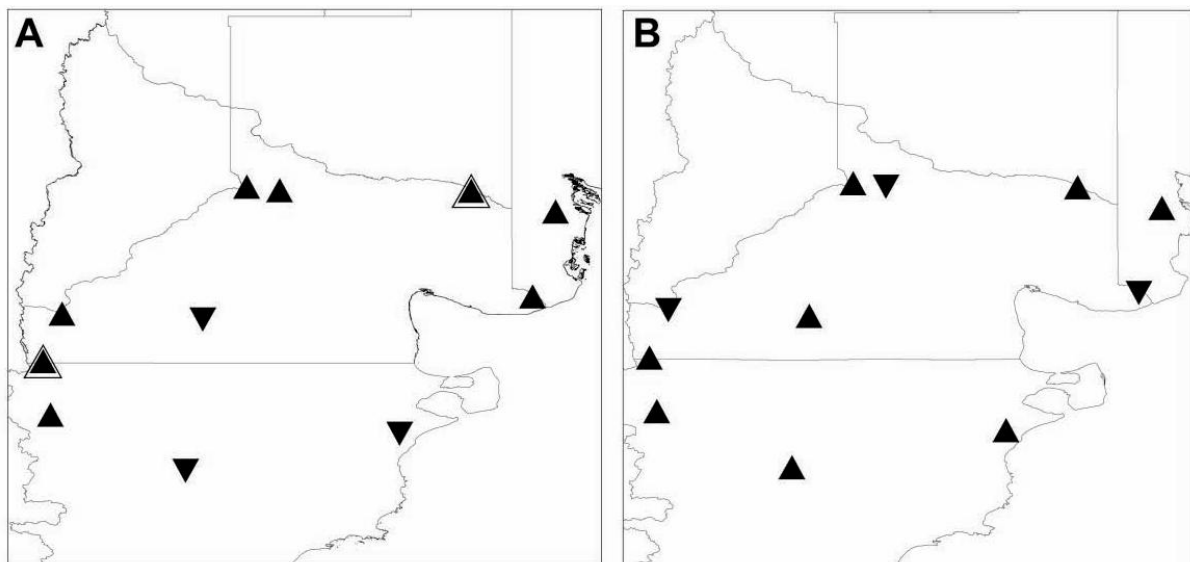
**Figura 8.** Tendencia de la temperatura mínima absoluta del mes de julio para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

## 2. Análisis de los índices agroclimáticos

### 2.1. Sumas térmicas del período agosto–octubre

La tendencia de este índice agroclimático para el período 1970-2016 fue positiva para ocho localidades, de las cuales dos fueron significativas. Las tres localidades restantes arrojaron tendencias ne-

gativas, no significativas estadísticamente (Figura 9a). Para el período 1997-2016, las tendencias fueron nuevamente positivas para ocho localidades y negativas para las restantes. Sin embargo durante éste período ninguna tendencia fue significativa (Figura 9b).



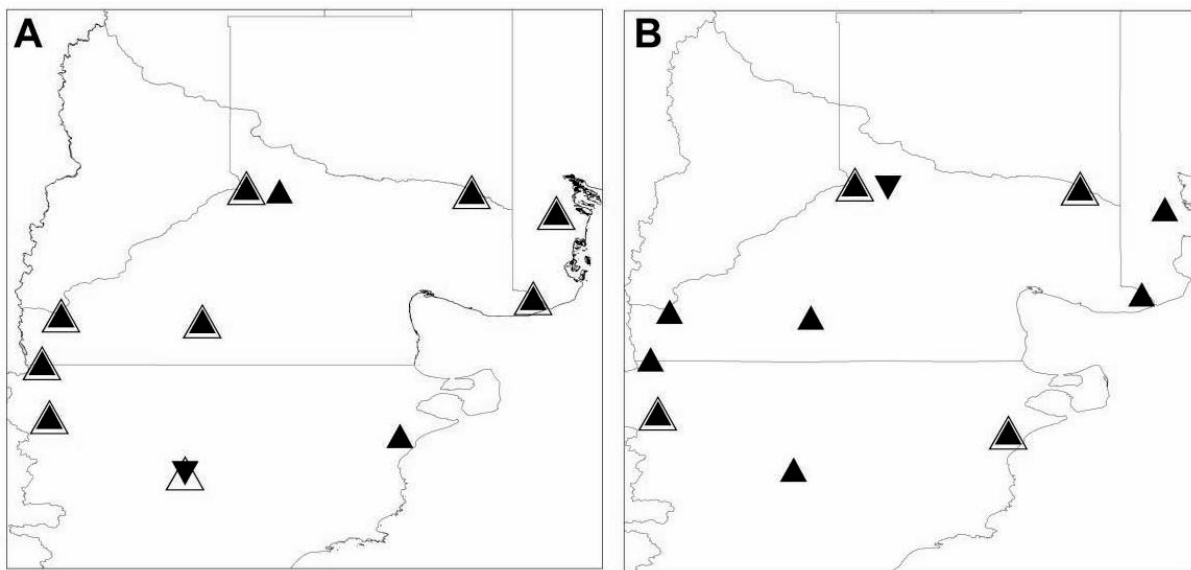
**Figura 9.** Tendencia de la suma térmica durante agosto – octubre para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

## 2.2. Sumas térmicas del período agosto-marzo

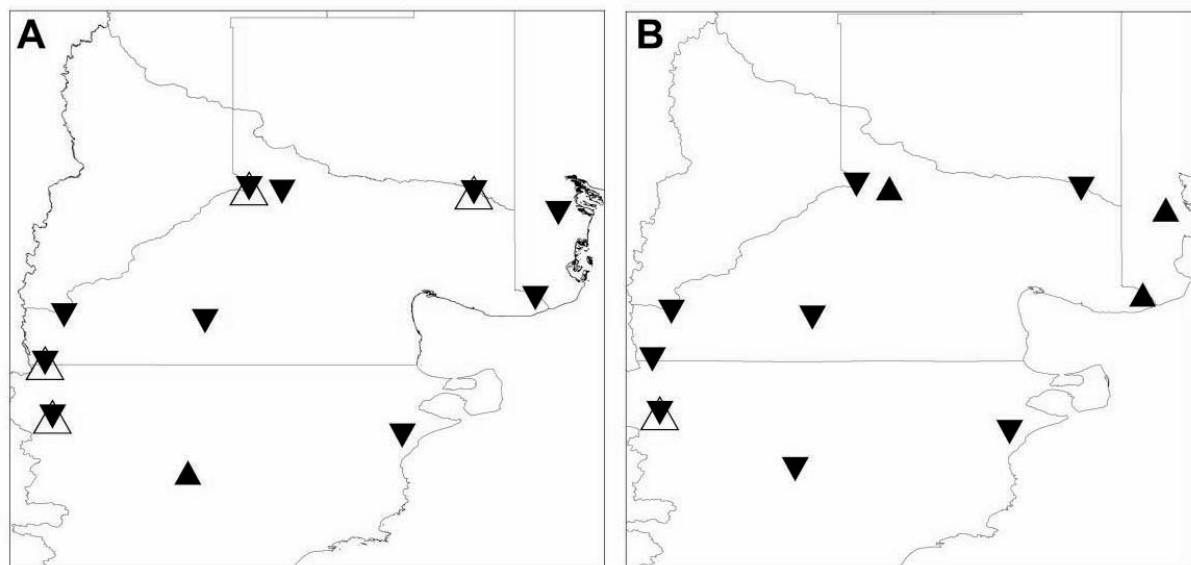
Para el período 1970-2016, 10 localidades mostraron un incremento positivo en la suma térmica analizada de las cuales ocho fueron significativos con incrementos decádicos que oscilaron entre 33 grados día y 62,2 grados día. En este caso, sólo una localidad mostró tendencia negativa significativa (Figura 10a). Durante el período 1997-2016, la tendencia continuó siendo positiva en 10 localidades, de las cuales cuatro fueron significativas y sólo una localidad mostró tendencia negativa no significativa (Figura 10b).

## 2.3. Horas de Frío

Este índice mostró una tendencia negativa en la acumulación de horas de frío en 10 localidades, de las cuales cuatro fueron significativas, con disminuciones de entre 17 y 48,2 horas de frío por década durante el período 1970-2016. Solo una localidad mostró tendencia neutra (Figura 11a). En tanto para los últimos 20 años, ocho localidades mostraron tendencia negativa, dos de ellas significativas. Las disminuciones en este caso oscilaron entre 79,2 y 118,3 horas de frío por década. El resto de las localidades mostraron tendencia positiva no significativa (Figura 11b).



**Figura 10.** Tendencia de la suma térmica durante agosto – marzo para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.



**Figura 11.** Tendencia de la acumulación de horas de frío para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

## Reflexiones sobre los resultados

Implantar un monte de nogal es una decisión que, además de costosa, el productor debe asumirla pensando en un horizonte que incluya los próximos 40/50 años donde propenderá a la obtención de las máximas productividades posibles. De ahí la importancia del estudio del bioclima (necesidades, exigencias y tolerancias del cultivo) en relación al agroclima (disponibilidades climáticas regionales) (Pascale y Damario, 2004).

El análisis de las variables climáticas y los índices climáticos y agroclimáticos permitió indicar que en la región estudiada se manifestó, en general, un incremento de las disponibilidades calóricas. El aumento promedio de las temperaturas medias anuales en 10 de las 11 estaciones estudiadas es de 0,8 °C en los 47 años estudiados. Este aumento de las temperaturas medias anuales podría asociarse en primer lugar a un aumento promedio de las temperaturas estivales. Los registros de las temperaturas medias del mes más cálido (enero) presentan un incremento promedio de 2 °C en las casi cinco décadas estudiadas. Por otra parte, las temperaturas máximas medias y máximas absolutas de dicho mes mostraron un incremento promedio de 2,4 y 2,2 °C respectivamente en los 47 años analizados.

El comportamiento de la temperatura media del mes de julio presentó aumentos no significativos en 10 de las 11 localidades estudiadas y, a su vez, las temperaturas mínimas medias y mínimas absolutas del mes de julio no arrojaron una tendencia regional definida. Los mayores incrementos observados en las temperaturas medias del mes más cálido con respecto a las temperaturas medias del mes más frío se encuentran en línea con el Informe sobre Tendencias y Proyecciones de Cambio Climático en Argentina referido a la Región Patagónica (SAyDS, 2014), resultando además en mayores amplitudes térmicas anuales en coincidencia con las observadas en trabajos recientes en la región (Forquera *et al.*, 2016).

La mayor disponibilidad térmica se corrobora con los resultados observados en las series de índices agroclimáticos. Así, la disponibilidad de horas de frío invernal es decreciente en 10 localidades y neutra en la restante. Esta disminución de frío invernal tiene un promedio de 24 horas de frío -HF- cada 10 años, alcanzando una pérdida promedio de 110 HF para los 47 años estudiados. En términos relativos la región “perdió” en los últimos 47 años entre el 5 y el 13 % de su disponibilidad de frío invernal según la localidad estudiada. En el caso de las sumas térmicas para el período agosto-marzo, se observó un aumento regional prome-

dio cada 10 años de 40 grados días -GD- con gran variabilidad, (rango de 8 a 62 GD según localidad), alcanzando 185 grados día (rango de 38 a 291 GD según localidad) en toda la serie estudiada. En términos relativos lo expuesto implica “ganancias” de disponibilidades calóricas que van del 2 al 30 % durante los 47 años según la localidad considerada. Por último las sumas térmicas de agosto-octubre (1970-2016) mostraron en la mayor parte del área de estudio, tendencias positivas. A partir de ello, se puede deducir que la mayor parte de la ganancia calórica de las sumas térmicas para el mencionado período se debe al aumento de disponibilidad térmica durante los meses estivales. La serie 1997-2016 sostiene la tendencia observada en la serie completa ya que presenta un decrecimiento promedio en la disponibilidad de frío invernal de 40 horas de frío cada 10 años. Algo similar (en términos de mayor disponibilidad térmica) sucede cuando se consideraron las sumas térmicas del período agosto-marzo donde el incremento promedio de los últimos 20 años alcanzó los 79 grados día cada 10 años, casi duplicando los de la serie completa.

Dados las necesidades de frío invernal y los requerimientos de calor primaveral del nogal, una primera aproximación del presente trabajo permite inferir que la disponibilidad de frío invernal en la región en general, que varía de 1200 HF en las localidades más septentrionales a 1900 HF en las más meridionales, de mantenerse las tasas de decrecimiento aquí reseñadas, no representaría una limitante para esta especie en la región durante las próximas décadas, al menos de las principales variedades comerciales conocidas a la fecha.

Por otra parte, los requerimientos de calor primavero-estivales para el cumplimiento eficaz del ciclo del cultivo (sumas térmicas agosto-marzo) son cubiertas en las localidades cercanas a la costa atlántica desde Hilario Ascasubi hasta Trelew y en aquellas ubicadas en los valles de los ríos Colorado y Negro, con valores que oscilan entre 1631 GD (Trelew) y 2214 GD (Río Colorado). De acuerdo a los resultados de la presente contribución, estos requerimientos térmicos no son cubiertos en la actualidad en las localidades andinas (Bariloche, El Bolsón y Esquel), que cuentan con valores que fluctúan de 600 a 850 grados-día, en Maquinchao (960 GD) y en Paso de Indios (1059 GD).

En una profundización del análisis regional, las tres localidades andinas presentaron tasas de aumento en las sumas térmicas de 40 a 50 GD cada 10 años para la serie 1970-2016 que en el caso de El Bolsón y Esquel se incrementaron en los últimos 20 años, lo que permite inferir, que de sostenerse en el tiempo esta tendencia, se avanzará hacia

una mayor sincronización entre las necesidades del cultivo y las disponibilidades térmicas locales crecientes en las décadas por venir. En el mismo sentido, deben evaluarse los resultados de las sumas térmicas en el período agosto-octubre. El aumento en este índice está ligado estrechamente a un posible adelantamiento de la brotación/floración primaveral de la especie. Por ejemplo, en la serie completa, esto se observó en ocho de las 11 localidades evaluadas mientras que en las tres restantes la tendencia es decreciente para este indicador, lo que merece trabajos posteriores de sub regionalización del área estudiada.

## CONCLUSIONES

La aptitud agroclimática actual y potencial de la región patagónica para el cultivo de nogal (*Juglans regia* L.) fue evaluada a partir del análisis de parámetros e índices climáticos y agroclimáticos utilizando datos mensuales. En este sentido, los resultados obtenidos en este trabajo permitieron esbozar un primer análisis que mostró un escenario de crecimiento de las disponibilidades térmicas regionales en los últimos 50 años. Si dicha tendencia se sostiene en el tiempo, como así lo afirman los estudios de modelos climáticos para los próximos 50-100 años para la región Patagónica, seguramente modificarán creando un ambiente con una mejor aptitud local y regional para el cultivo del nogal. Como continuación de estos estudios se recomienda incorporar en el análisis de futuras investigaciones el riesgo de daños por heladas en relación a la fenología varietal del cultivo y la necesidad de generar una sub regionalización climática y agroclimática del área estudiada. Se recomienda también evaluar heterogeneidad térmica observada en las localidades ubicadas en la Patagonia andina, con respecto aquellas situadas a la meseta central o en la zona costera patagónica.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Río Negro por el apoyo financiero a la presente investigación a través del PI 40-C-356 denominado "Aspectos bio y agroclimáticos claves en la productividad del cultivo de nogal (*Juglans regia* L.) en el valle inferior del río Negro: necesidades de frío y requerimientos de calor para ruptura de dormición, brotación y floración en un contexto de cambio climático", bajo la dirección de los Dres. Gustavo A. Orioli y Carlos R. Bezic. Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria por los datos cedidos. Al Departamento de Agronomía de la Uni-

versidad Nacional del Sur por la asistencia brindada para el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Alvaro, M.B., 2008. Estrategias de reproducción social de los productores chacareros: Estudio de caso en una localidad del Alto Valle. *Revista de la Facultad* 14: 29-52.
- Barbero, N., C. Rössler y P. Canziani, 2008. Cambio Climático y Viticultura: variabilidad climática presente y futura y aptitud vitícola en 3 localidades de la Patagonia. *Revista Enología* 2: 1-8.
- Bouhier, R., 2005. La nogalicultura en la Argentina: Situación en el Valle Inferior del río Negro. I Seminario Internacional de Nogalicultura de la Patagonia. Viedma, Río Negro.
- Cabré, M.F., S. Solman y M. Nuñez, 2016. Regional climate change scenarios over southern South America for future climate (2080-2099) using the MM5 Model. Mean, interannual variability and uncertainties. *Atmósfera* 29(1): 35-60.
- Campoy, J.A., D. Ruiz y J. Egea, 2011. Dormancy in temperate fruit trees in global warming context: a review. *Sci. Hort.* 130 (2):357-372.
- Coronato, F. R., 1993. Wind chill factor to Patagonian climatology, *International Journal of Biometeorology* 37: 1-6.
- De Jong, G. M., 2008. Análisis regional, estructuras agrarias y estrategias de desarrollo regional en la fruticultura del Alto Valle de la Cuenca del Río Negro [en línea]. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Disponible en: <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.272/te.272.Pdf>.
- Del Barrio, R.A. y D.M. Martín, 2010. Aspectos bio y agroclimáticos del cultivo del nogal en el valle inferior del río Negro. *Actas XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología*: 67-68. RALDA, 20 al 22 de octubre de 2010. Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.
- Del Barrio, R., G. Orioli, C. Bezic, M. Sanchez, A. Sylvester y M. Gianello, 2015. Requerimientos térmicos para la producción de nogal (*Juglans regia* L.) en la nor Patagonia". 38° Congreso Argentino de Horticultura. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 5-8 de octubre de 2015.
- Duputie, A., A. Rutschmann, O. Ronce y I. Chuine, 2015. Phenological plasticity will not help all species adapt to climate change. *Global Change Biology* 21: 3062-3073, doi: 10.1111/gcb.12914.
- Fabricante, I., M. Oesterheld and J.M. Paruelo, 2009. Annual and seasonal variation of NDVI explained by

- current and previous precipitation across Northern Patagonia. *Journal of Arid Environments* 73:745–753.
- Fernández Long, M.E., G.V. Muller, A. Beltrán-Przekuratc y O.E. Scarpati, 2013. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology* 33: 1673–1686.
- Forquera, J.C., D.A. Gonzalez y C.G. Prieto, 2016. Termoplumiometría y Efecto Niño en Patagonia Norte. *Actas XVI Reunión Argentina y VIII Latinoamericana de Agrometeorología*. Puerto Madryn, Argentina. Septiembre de 2016.
- Funes, I., X. Aranda, C. Biela, J. Carbó, F. Camps, A. Molina, F. de Herralde, B. Grau, y R. Savé, 2016. Future climate change impacts on apple flowering date in a Mediterranean subbasin. *Agricultural Water Management* 164:19–27.
- Gil-Albert, F., 1989. *Tratado de Arboricultura Frutal*. Vol. II: La ecología del árbol frutal. 2ª Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 236p.
- Gil Olcina, A. y J. Olcina Ocampos, 2017. *Tratado de Climatología*. Instituto Interuniversitario de Geografía. Publicacions Universitat D'Alacant. España. 949p.
- Iannamico, L., 2004. Nogal: variedades de brotación tardía. *Revista Rompecabezas Tecnológico* 43:23-26. E.E.A. Alto Valle. Ed. INTA.
- Iannamico, L., 2009. El cultivo de Nogal en climas templados-fríos. I Material Vegetal. E.E.A. Alto Valle. Ed. INTA. 115p.
- Iannamico, L. 2015. *Cultivo de Nogal*. CRPN. Allen. Río Negro. Argentina: INTA Ediciones.
- IPCC, 2013. *Climate change 2013: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- Legave, J.M., M. Blanke. D. Christen, D. Giovannini, V. Mathieu and R. Oger, 2013. A comprehensive overview of the spatial and temporal variability of apple bud dormancy release and blooming phenology in Western Europe. *International Journal of Biometeorology* 57 (2): 317–331.
- León, J.C, Bran, D., Collantes, M., Paruelo, J. M., y A. Soriano, 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología austral* 8(2): 125-144.
- Lindsey, A. and J.F. Newman, 1956. Use of official weather data in spring time-temperature analysis of an Indiana phenological record. *Ecology* 37 (4): 812-823.
- Luedeling, E., 2012. Climate change impacts on Winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Sci. Hort.* 144:218-229.
- Luedeling, E., M. Blanke and J. Gebauer, 2015. Chilling Challenges in a Warming World. *Proc. II International Symposium on Horticulture in Europe*. Eds.: J.-C. Mauget and S. Godet. Acta Hort. 1099, ISHS
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13:245-259
- Muncharaz Pou, M., 2012. *El Nogal*. Ed.MundiPrensa, Madrid, 350 p.
- Murphy, G., 2008. *Atlas Agroclimático de la Argentina*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 130p.
- Paruelo, J.M.; A. Beltrán, E. Jobbágy, O.E. Sala, y R.A. Golluscio, 1999. El clima de la Patagonia: Patrones generales y controles sobre los procesos bióticos. *Ecología Austral* 8 (2):85-101.
- Pascale, A.J. y E. Damario, 2004. *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. EFA. Buenos Aires. 550p.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable- SAyDS- 2014. *Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones*. Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación-Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. Buenos Aires, Argentina.
- Sen, P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63(324), 1379-1389.
- Villaseca, C. S., 2004. Requerimientos de suelo y clima del nogal. *Región Metropolitana. Tierra Adentro* 59 (Noviembre-Diciembre): 24-29.
- Villaseca, C. S., 2007. El nogal: una especie exigente en suelo y clima. *INIA Tierra Adentro* (Mayo-Junio): 33-35.
- Weinberger, J.H., 1950. Chilling requirements of peach varieties. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 56:122–128.
- Xiao, L, T. Ma y D. Ning, 2013. Analysis of climatic factors influencing walnut distribution in the main producing areas of Yunnan Province. *Asian Agricultural Research* 5 (11): 46-52.