

Revista Argentina de Agrometeorología

ISSN 2545-8418

Editada por la
Asociación Argentina
de Agrometeorología

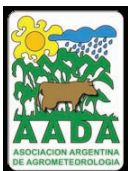
Revista Digital | Volumen VIII | Año 2017



Revista argentina de

AGROMETEOROLOGIA

Volumen VIII. AÑO 2017



Asociación Argentina de Agrometeorología

Comisión Directiva

Presidente: Marta Vinocur

Vicepresidente: Andrea Irigoyen

Secretaria: Andrea Rivarola

Prosecretaria: Liliana Spescha

Secretaria de Actas: Graciela Vergara

Tesorero: Roberto Zanvettor

Protesorero: Angel Blason

Vocales Titulares: Armando Brizuela

Carolina Munka

Vocales Suplentes: Silvina Maio

Daniel Sorlino

Revista argentina de

AGROMETEOROLOGÍA

Director: Pedro Enrique Boletta

Comité Científico

Coordinador: Andrés C. Ravelo

Integrantes del Comité Científico

Homero Bergamaschi

Antonio de la Casa

Patricia Figuerola

Denice Fontana

Andrea Irigoyen

Mario Murphy

Olga Penalba

Ana María Planchuelo

Andrés C. Ravelo

Rafael Rodríguez

Roberto Seiler

Paulo Senthelas

Leonardo Serio

Marta Vinocur

RADA

REVISTA ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGÍA

Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos
Agrícolas y Naturales Av. Valparaiso s/n - C.C. 509 -
C.P. 5000

Ciudad de Córdoba - ARGENTINA

www.crean.unc.edu.ar

Email: pecbol@gmail.com

Nota Editorial

En el Volumen VIII algunos trabajos reflejan la preocupación que el Cambio Climático ha generado en todos los ámbitos del saber científico en el mundo. Nuestro país no es ajeno a las distintas manifestaciones que está provocando el Cambio Climático en todos los órdenes. La Agrometeorología es una de las ciencias que analiza la problemática que produce el Cambio Climático en los sistemas productivos y las consecuencias económicas y sociales que generan las distintas adversidades que se producen tales como sequías y excesos hídricos más severos, mayores inundaciones y pérdidas de superficies productivas, entre otras. Por otro lado, se observan ciertas variaciones de las ofertas climáticas de las distintas zonas, que determinan cambios en los escenarios productivos y, por lo tanto, nuevas posibilidades de producción que antes no eran posibles en esos lugares.

Por lo expresado, es de esperar que la comunidad de agrometeorólogos dirija sus esfuerzos hacia un mejor conocimiento de los efectos adversos o no del Cambio Climático de forma de aportar elementos de acción hacia una mayor producción agropecuaria. Los resultados de dichos esfuerzos deben plasmarse en publicaciones que contribuyan a la difusión de los nuevos conocimientos generados.

Ing. Ftal (M Sc.) Pedro Enrique Boletta

Director RADA

CONTENIDO

Evaluación agroclimática y económica de los efectos adversos de los excesos hídricos en la región pampeana argentina

Zanvettor, R. E.; A. C. Ravelo; E.O.Thomasz y S. Sanchez 1

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 15

Indices térmicos y pluviométricos de cambio climático en Anguil: tendencias del periodo 1961-2016

Belmonte, M.L..... 29

Condiciones termo-hídricas y comportamiento de especies nativas en el Valle de Paravachasca, Córdoba, Argentina

Planchuelo, A.M. y A. C. Ravelo..... 43

Evaluación agroclimática y económica de los efectos adversos de excesos hídricos en la región pampeana argentina

Zanvettor,R.E.; A.C.Ravelo; E.O.Thomasz y S.S.Sanchez

RESUMEN

Los excesos hídricos registrados durante la ocurrencia de El Niño en las campañas 1997/98, 2002/03, 2009/10 y 2015/16 fueron identificados por los índices de Palmer PDSI y CMI. Se encontró una importante variabilidad geográfica de los índices en las diferentes campañas analizadas y consecuentemente en los efectos adversos. Dichos efectos se determinaron a nivel de departamento para las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe, durante la reciente campaña agrícola 2015/16 y se cuantificaron las pérdidas económicas. Las mermas en producción agrícola para el cultivo de soja asciende a 483 millones de dólares estadounidenses.

Palabras clave: Índices de Palmer, El Niño, soja, producción agrícola

Zanvettor,R.E.; A.C.Ravelo; E.O.Thomasz and S.S.Sanchez: 2017. Agroclimatic and economic assessment of the adverse impacts of excessive moisture in the Argentine pampas region. RADA VIII: 1-13

SUMMARY

The moisture excesses during the occurrence of El Niño events in 1997/98, 2002/03, 2009/10 y 2015/16 were identified by the Palmer indices PDSI and CMI. There is a large geographic variability of the indices in the crop seasons analyzed and the negative impacts also. The adverse effects of the moisture excesses were established for each province county of Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe for the recent 2015/16 agriculture summer season and the economic losses were established. The agriculture losses for soybean only reached 483 million US dollars.

Key words: Palmer indices, El Niño, soybean, agriculture production

R.E. Zanvettor, A.C.Ravelo y S.S. Sanchez: Facultad de Cs. Agropecuarias-UNC / CREAN-IMBIV/CONICET, Ing. Agr. Félix A. Marrone 746, Ciudad Universitaria, Córdoba. E.O.Thomasz: UBA, Fac. de Ciencias Económicas, ProVul. Correspondencia a: zanvetor@agro.unc.edu.ar

INTRODUCCIÓN

En 1884, Florentino Ameghino planteó el tema de las inundaciones en la región pampeana y entre sus conclusiones más importantes proponía: “poner un techo al campo” para retener en origen, la lluvia caída a través de represas, estanques y lagunas artificiales combinadas con canales y plantaciones de arboledas en gran escala (Ameghino, 1985). Esas propuestas no fueron materializadas y actualmente, más de 130 años después, los efectos adversos de los excesos hídricos continúan, causando pérdidas cuantiosas en la agricultura y ganadería de la región pampeana. Uno de los ejemplos más recientes corresponde a la campaña 2015/16 (BCC, 2016).

En relación a los excesos hídricos, Argentina concentra el 80% de la población y más del 80% de la producción agrícola, en la planicie de inundación del río Paraná. En la región pampeana existen áreas que históricamente han experimentado ciclos de anegamiento y que atravesaron grandes inundaciones como en 1996-2001, donde llovió un 20% más que el promedio histórico. En ese lapso, la superficie afectada en la región creció del tres al 27% y las napas subieron de 3,5 a 1,3 m de profundidad. Si bien la inundación se retrajo, no sucedió lo mismo con los niveles freáticos, que actualmente están a 2 m de profundidad. Esto implica que, la misma situación de anegamiento se podría repetir con aún menos precipitaciones que las que ocurrieron en 2001, (Viglizzo y Jobbágy, 2010).

La ocurrencia de eventos El Niño tiene efectos sobre la magnitud y distribución de las precipitaciones en Argentina y en particular en la pradera pampeana, donde se manifiesta con abundantes precipitaciones estivales. Las precipitaciones registradas durante la campaña 2015/16 en vastas áreas de la región pampeana condujeron a inundaciones y anegamientos prolongados, cuyos efectos se reflejaron en la productividad de los cultivos. Las pérdidas económicas en esas áreas fueron cuantiosas (Agrovoz, 2017). En varias zonas de la llanura pampeana donde no se presentaban este tipo de escenarios, comenzaron a manifestarse en los últimos cinco años. En la región centro-este de Córdoba, cuyas tierras originalmente fueron pastizales y se encuentran entre las más fértiles del país, cerca del 25% del área han estado bajo el agua en la campaña mencionada (BCC, 2016). En la localidad de Marcos Juárez, los niveles freáticos medidos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) se han elevado desde 11 m en 1970 hasta 1 m de profundidad en 2016 (Jobbágy, 2016).

Es por dichas razones que se hace indispensable analizar las precipitaciones, establecer un seguimiento a través de índices *ad hoc* y generar pronósticos de los índices para alertas tempranas sobre excesos hídricos. Algunos índices meteorológicos, hidrológicos o satelitales han sido utilizados como elementos de análisis (Palmer, 1965; McKee et al., 1993; Kogan, 1997; Ravelo et al., 2014a). Los índices resumen en una o varias variables de relevancia, el estado de las condiciones hídricas y pueden ser graficados para visualizar su variabilidad temporal o geográfica, además de su utilización en métodos de pronóstico (Kim et al., 2002) y de evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de ocurrencia de extremos hídricos (Ravelo et al., 2015). Asimismo, índices obtenidos de información satelital pueden ser utilizados para el monitoreo y evaluación de las sequías (Kogan, 1997; Ravelo & Pascale, 1997; Peters et al., 2002).

En el pronóstico de índices de extremos hídricos y en particular para sequías, se han utilizado las redes neuronales cuya efectividad ha sido validada por varios investigadores (Kim et al., 2002; Ravelo et al., 2014b). Dichas redes son sistemas dinámicos auto-adaptativos, con capacidad de pronosticar condiciones hídricas (ocurrencia o persistencia de extremos) mediante el análisis de situaciones hídricas pasadas (Hyun-Suk Shin & Salas, 2000).

El impacto económico está dado por todo un conjunto de factores a saber:

- Impacto sobre la vulnerabilidad social de poblaciones afectadas (Borden *et al.*, 2007; Cutter, 2003; Hinkel, 2011): desde posibles daños físicos y mentales hasta la capacidad económica de recuperación y sostenimiento del nivel de vida en la etapa post-inundación.
- Daño a la infraestructura: rotura y deterioro de infraestructura civil como puentes, caminos, de infraestructura privada como inmuebles y hogares e infraestructura productiva como maquinaria.
- Pérdidas directas de la actividad económica: daños directos a los cultivos, afectando la cantidad y/o calidad de la producción
- Pérdidas indirectas: en caso de generarse caída en la producción, esto impacta en menor actividad en la cadena productiva (menos transporte, menos comercialización, etc.).

Esto implica que la identificación de las zonas de excesos hídricos debe contrastarse con el tipo y dimensión de la actividad económica desarrollada en el área afectada. El dimensionamiento en términos económicos permite establecer si los excesos hídricos generan impactos a nivel de vul-

nerabilidad social, si afectan actividades económicas solamente a nivel local, o si la magnitud de las pérdidas puede llegar a tener impactos macroeconómicos. De esta forma, la tipología del daño y su magnitud, provee información útil acerca del tipo de política pública a desarrollar y su forma de financiamiento.

En relación a los aspectos adversos de los excesos hídricos sobre la agricultura cabe destacar las pérdidas de área sembrada, reducción de los rendimientos, erosión y pérdida de la fertilidad de los suelos, entre otros.

El objetivo de este trabajo fue analizar los períodos con ocurrencia de excesos de humedad en la pradera pampeana durante los últimos 20 años mediante índices agro-meteorológicos y evaluar sus efectos negativos sobre la productividad agrícola, particularmente en el caso de la soja, en términos agroeconómicos.

MATERIALES y MÉTODOS

El área de estudio seleccionada corresponde a las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe, las cuales conforman la mayor parte de la pradera pampeana. Los datos de precipitación diaria utilizados para el cálculo de los índices meteorológicos y agro-meteorológicos fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el período comprendido entre 1996 a 2016 (SMN, 2017). Se utilizaron datos de 45 estaciones meteorológicas (Figura 1), cuya información fue controlada para garantizar la validez, continuidad y confiabilidad de la misma.

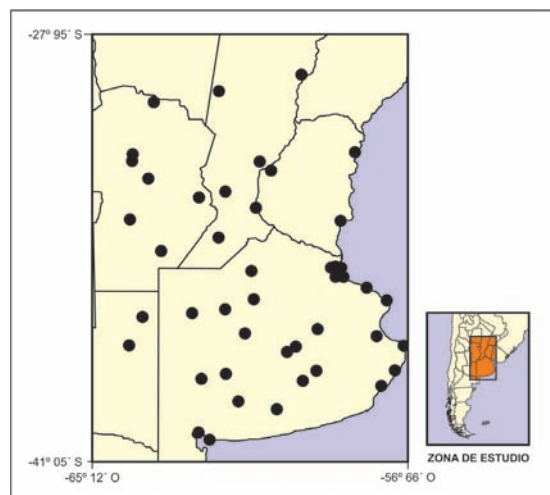


Figura 1. Red de Estaciones Meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2017) consideradas en el estudio.

Los índices mensuales de sequía (PDSI) y de humedad del cultivo (CMI), Palmer, (1965;1968), fueron obtenidos de la página web del Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN, 2017).

La selección de las campañas agrícolas fue realizada considerando los valores extremos negativos del CMI (condiciones adversas para el cultivo) y corroborados con los valores extremos positivos del PDSI (excesos de humedad).

Se consideró la ocurrencia de los eventos El Niño, utilizando los valores del Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés) (NOAA, 2016; 2017).

A partir de la identificación de los eventos de excesos hídricos a escala departamental, se procedió a evaluar el impacto económico generado en términos de pérdida de valor bruto de producción en el cultivo de soja. Se focalizó la evaluación estrictamente en este cultivo dada su significancia económica: representa el 73% del valor generado por la producción de granos y el 22% de las exportaciones totales del país. Para ello, se exploró la información de área sembrada, cosechada y producción publicada por el Ministerio de Agroindustria de la Nación (2017), a través del portal "Datos Abiertos Agroindustria", donde en muchos casos se dispone información desde 1970. Se analizaron las variables listadas a continuación y aplicó el modelo tendencial a partir del cual se identifican desvíos extremos en los niveles de rendimientos desarrollado por Thomasz *et al.*, (2016), Thomasz *et al.*, (2017), Tannura *et al.*, (2008) y Baethgen (2008). Las variables analizadas desde 1970 fueron:

- Área cosechada
- Área sembrada
- Rendimiento
- Rendimiento tendencial (ausencia de extremos climáticos)
- Producción
- Precio internacional

Se observó que, en los casos de existencia de extremos hídricos, la principal variable afectada es la diferencia entre área sembrada y cosechada. Consecuentemente, la pérdida de producción de dicha área se estimó tomando en cuenta el rendimiento tendencial histórico del departamento y restando la pérdida de área promedio observada en otras campañas, para construir un escenario contra-fáctico de ausencia de extremos climáticos. El rendimiento tendencial es el que surge del modelo citado y se entiende por el mismo, el nivel de rendimiento alcanzado bajo un escenario de ausencia de extremos climáticos. Este rendimien-

Tabla 1. Estaciones meteorológicas para las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, Santa Fe y La Pampa, seleccionadas para este estudio. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Estación Meteorológica	Provincia	Número	Latitud S (Grados y Décimos)	Longitud W (Grados y Décimos)	Altura (Msnm)
Aeroparque Aero	Capital Federal	87582	-34.57	-58.42	6
Azul Aero	Buenos Aires	87641	-36.83	-59.88	147
Bahia Blanca Aero	Buenos Aires	87750	-38.73	-62.17	83
Benito Juarez Aero	Buenos Aires	87649	-37.72	-59.78	207
Buenos Aires	Capital Federal	87585	-34.58	-58.48	25
Bolivar Aero	Buenos Aires	87640	-36.20	-61.07	94
Ceres Aero	Santa Fe	87257	-29.88	-61.95	88
Concordia Aero	Entre Rios	87395	-31.30	-58.02	38
Cordoba Aero	Cordoba	87344	-31.32	-64.22	474
Cordoba Observatorio	Cordoba	87345	-31.40	-64.18	425
Coronel Pringles Aero	Buenos Aires	87683	-38.02	-61.33	247
Coronel Suarez Aero	Buenos Aires	87637	-37.43	-61.88	233
Dolores Aero	Buenos Aires	87648	-36.35	-57.73	9
El Palomar Aero	Buenos Aires	87571	-34.60	-58.60	12
Ezeiza Aero	Buenos Aires	87576	-34.82	-58.53	20
El Trebol	Santa Fe	87470	-32.50	-61.67	96
General Pico Aero	La Pampa	87532	-35.70	-63.75	145
Guaquaychu Aero	Entre Rios	87497	-33.00	-58.62	21
Junin Aero	Buenos Aires	87548	-34.55	-60.92	81
Laboulaye Aero	Cordoba	87534	-34.13	-63.37	137
La Plata Aero	Buenos Aires	87593	-34.97	-57.90	19
Las Flores Aero	Buenos Aires	87563	-36.03	-59.13	36
Mar Del Plata Aero	Buenos Aires	87692	-37.93	-57.58	21
Marcos Juarez Aero	Cordoba	87467	-32.70	-62.15	114
Mariano Moreno Aero	Buenos Aires	87572	-34.55	-58.82	32
Nueve De Julio	Buenos Aires	87550	-35.45	-60.88	76
Olavarria Aero	Buenos Aires	87643	-36.88	-60.22	166
Parana Aero	Entre Rios	87374	-31.78	-60.48	78
Pehuajo Aero	Buenos Aires	87544	-35.87	-61.90	87
Pigue Aero	Buenos Aires	87679	-37.60	-62.38	304
Pilar Obs.	Cordoba	87349	-31.67	-63.88	338
Ponton Practicos Recalada	Buenos Aires	87598	-35.17	-56.25	11
Punta Indio B.a.	Buenos Aires	87596	-35.37	-57.28	22
Reconquista Aero	Santa Fe	87270	-29.18	-59.70	53
Rio Cuarto Aero	Cordoba	87453	-33.12	-64.23	421
Rosario Aero	Santa Fe	87480	-32.92	-60.78	25
San Miguel	Buenos Aires	87569	-34.55	-58.73	26
Santa Rosa Aero	La Pampa	87623	-36.57	-64.27	191
Santa Teresita Aero	Buenos Aires	87658	-36.55	-56.68	4
Sauce Viejo Aero	Santa Fe	87371	-31.70	-60.82	18
Tandil Aero	Buenos Aires	87645	-37.23	-59.25	175
Tres Arroyos	Buenos Aires	87688	-38.33	-60.25	115
Venado Tuerto	Santa Fe	87468	-33.67	-61.97	112
Villa Gesell Aero	Buenos Aires	87663	-37.23	-57.02	9
Villa Maria Del Rio Seco	Cordoba	87244	-29.90	-63.68	341

to constituye el punto de comparación, al cual se denomina escenario contra fáctico. La pérdida de área promedio se calcula como el promedio simple de pérdida de área en base a la información histórica seleccionada, a los fines de estimar un nivel de pérdida de área promedio que ocurra en forma recurrente y no se encuentre vinculada a cuestiones climáticas. Posteriormente, la pérdida en términos monetarios se valió a través de los precios de referencia representados por diferentes cotizaciones de los contratos a futuro de soja del mercado de Chicago (www.cmegroup.com/).

Pérdida económica = Estimación pérdida de producción x Precio internacional

Debe destacarse que la pérdida económica mencionada es una valuación general que estima el valor bruto de producción (VBP) a nivel de departamento, cuyo valor total luego debe segmentarse entre ingreso al productor, impuestos e ingresos de la cadena de comercialización y exportación. A los fines de este trabajo se analizará la pérdida de ingreso total, sin diferenciar al receptor.

Si bien la pérdida en cantidades producidas sea probablemente la variable más importante, la monetización de la misma provee la información necesaria para fundamentar si resulta económicamente viable la inversión en infraestructura de adaptación al riesgo climático (Por ejemplo, sistemas de irrigación para adaptación a sequías o sistemas de drenaje o contención de inundaciones para adaptación a excesos hídricos), dado que para ello resulta necesario proyectar un flujo de fondos monetario.

En relación al impacto económico de los excesos hídricos en el sector agrícola, es necesario recalcar que las pérdidas económicas comprenden no solamente la baja en las cantidades producidas, sino también los efectos en los precios y los encadenamientos del sector: menor producción puede implicar mayores precios para el productor, compensando parcialmente el efecto económico de la baja en cantidades; no obstante, la baja de las cantidades genera menor actividad económica en la cadena productiva de transporte, servicios, comercialización, etc. Vale destacar que la mayor parte los estudios aplicados a Argentina (Cepal, 2014; Murgida, *et al.*, 2014; Ortiz de Zárate *et al.*, 2014; Podesta *et al.*, 2013; Magrin *et al.*, 2007; Letson *et al.*, 2009; Letson *et al.*, 2005; Podesta *et al.*, 2002; Losanoff y Cap, 2006; Heinzenknecht, 2011) se limitan a cuantificar los efectos sobre las cantidades producidas. Las estimaciones del valor económico de las pérdidas se han realizado en casos muy puntuales, proyectando los cambios en los beneficios del agricultor como producto

de la incidencia de variables climáticas o bien en estudios a nivel muy agregado, desarrollando estimaciones de impacto sobre el valor agregado de la economía (PIB). No obstante, este último caso corresponde a proyecciones futuras de cambio climático y no a escenarios de variabilidad climática, ni tampoco valúan las pérdidas registradas en los eventos pasados.

Dentro de este contexto, el principal desafío esta dado en la construcción de un modelo de evaluación de pérdidas económicas por eventos de variabilidad climática pasados, presentes y futuros de mediano plazo, que sea replicable a un área geográfica mayor, y que provea una estimación de la pérdida agregada al conjunto de la economía en términos monetarios. Si bien existen estudios que monetizan pérdidas de campañas pasadas, no se cuenta con un modelo de valuación completamente riguroso y estandarizado. En este trabajo se dará un primer paso en la monetización de las pérdidas económicas por excesos hídricos a escala de departamento, haciendo uso del análisis estadístico de área, rendimientos, precios y excesos hídricos.

La pérdida calculada corresponde al ingreso resignado por departamento, magnitud que en las cuentas nacionales es denominado valor bruto de producción. Como fue dicho, la pérdida se monetiza aplicado el precio internacional de la soja, a través de diferentes cotizaciones de contratos de futuro del mercado de Chicago. Como la producción de soja tiene como mayor destino la exportación, el valor bruto de producción primario valuado a precios internacionales constituye una estimación robusta.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestran los valores del ONI para el período 1997-2016, observándose cuatro eventos (1997/98, 2002/3, 2009/10 y 2015/6) que alcanzan o superan los niveles de 1,3 (eventos El Niño de intensidad moderado a muy fuerte) (NOAA, 2017).

En la Figura 3 se presenta la distribución geográfica del PDSI en la región pampeana en el mes de enero y febrero en 2016, durante los cuales se presenta la ocurrencia de El Niño (campañas agrícolas 1997/98, 2002/03, 2009/10 y 2015/16) y donde el índice alcanza valores positivos elevados. Asimismo, la Figura 4 presenta al CMI para los mismos años y meses que el PDSI.

Los excesos hídricos ocurridos en la región pampeana 2015/16 fueron resultantes de las abundantes precipitaciones en el mes de febrero

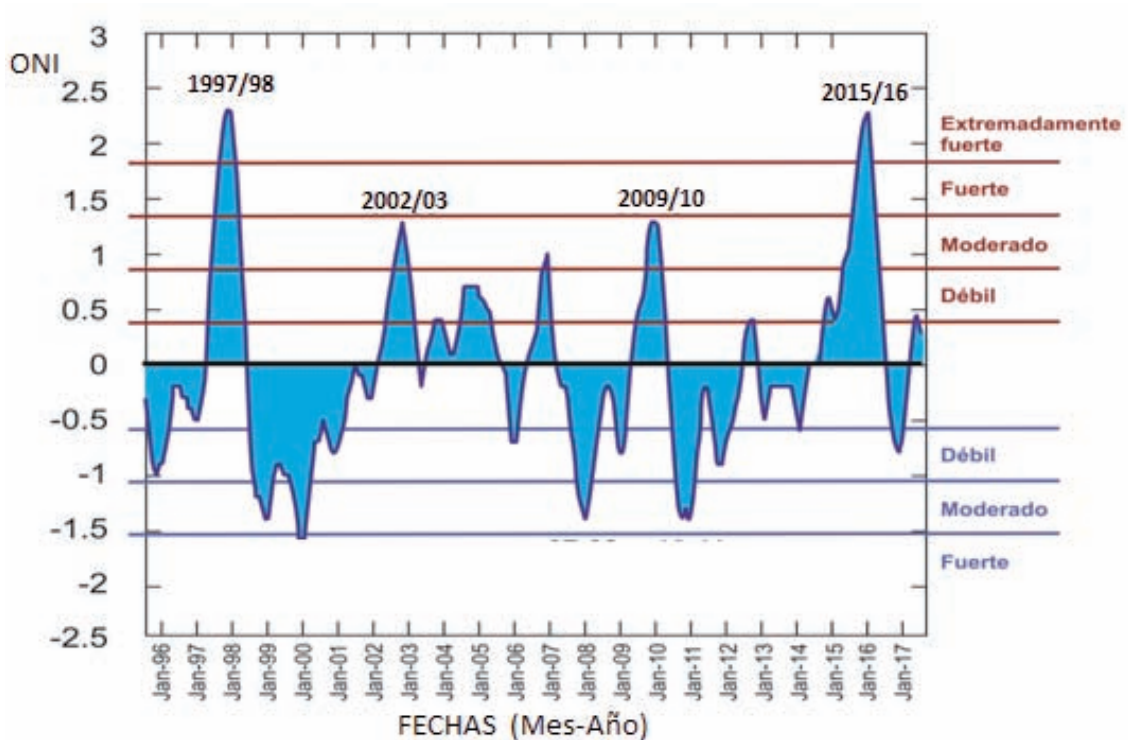


Figura 2. Variabilidad del índice oceánico de El Niño (ONI) para el período 1996 a 2016(adaptada de NOAA, 2017).

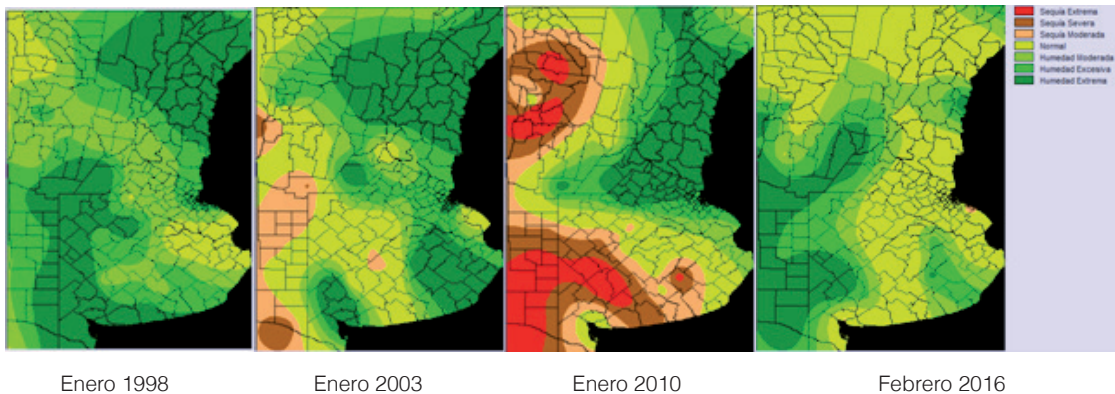


Figura 3. Zonas con humedad extrema (en color verde oscuro) según el PDSI para los meses de enero de 1998, 2003, 2010 y febrero de 2016.

2016. Algunas áreas de la región superaron en un 200% los valores normales (por ejemplo, Marcos Juárez 195,62%, Cnel. Suarez 203,25%, El Trébol 220,46% y Concordia 190,54%). Los excesos hídricos produjeron la saturación de los suelos y su anegamiento con escurrimientos superficiales. Las zonas bajas o deprimidas topográficamente fueron las más afectadas (Fotos 1 y 2) tal como se verificó en la localidad de Las Varillas y en el departamento San Justo en la provincia de Córdoba (Agrovoz, 2016).

Las condiciones ambientales de extrema humedad fueron identificadas por los índices meteorológicos y agroclimáticos y su validación operativa han sido establecida por otros autores (BCC, 2016; Jobbágy 2016; Zanvetor et al., 2016). La ocurrencia de El Niño se asocia directamente con los excesos de humedad en amplias zonas de la región pampeana; sin embargo, debe destacarse que dichos excesos presentan montos variables y una distribución geográfica diferente en cada evento. Por ejemplo, en El Niño de 1997/98 se observan

los mayores excesos hídricos en algunos departamentos de la provincia de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe (Tabla 2), mientras que en otras partes de la región no hay mayores excesos o estos son moderados. La misma variabilidad geográfica se presenta en los otros eventos El Niño y los departamentos afectados por los excesos de humedad no son necesariamente similares (Tabla 2). En la campaña agrícola 2009/10, resulta importante destacar que se observan aún en zonas con ocurrencia de sequías (Figura 3, zonas en rojo en Enero 2010) relacionadas con la ocurrencia del evento La Niña de 2007/09, que afectó principal-

mente la región occidental del área en estudio. Finalmente, en la campaña 2015/16, se pueden apreciar los efectos adversos de los excesos de humedad en un menor número de departamentos (Tabla2); sin embargo, esos efectos adversos alcanzaron mayor intensidad.

Evaluación económica de las pérdidas por excesos hídricos

Cuando se analiza lo ocurrido en la campaña sojera de 2015/16 en Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe, solamente en los casos donde se

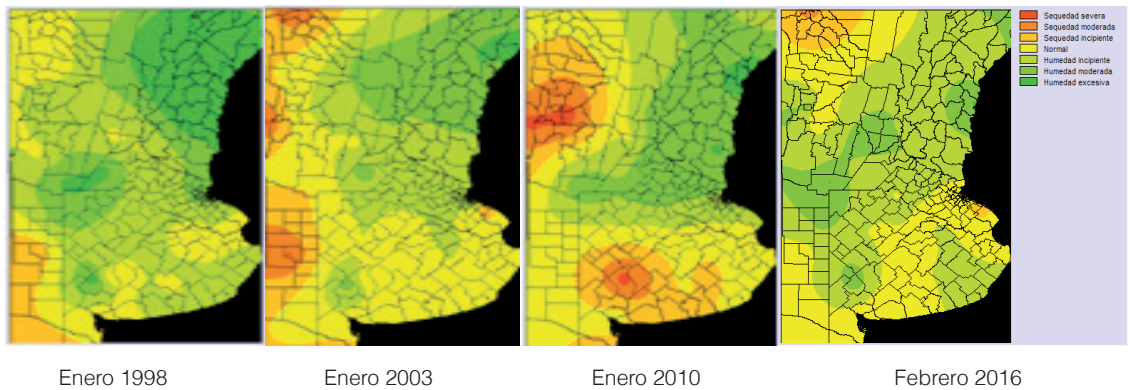


Figura 4. Zonas con humedad excesiva para los cultivos (en color verde más oscuro) según el CMI para los meses de enero de 1998, 2003, 2010 y febrero de 2016.



Foto 1. Campos inundados en las cercanías de la localidad de Las Varillas en Febrero de 2016.



Foto 2. Vista aérea de una zona inundada del departamento San Justo en Febrero de 2016.

registran excesos hídricos, se observa que en Córdoba cuatro departamentos registran pérdidas de área mayores al promedio histórico, cinco en Santa Fe y dos en Entre Ríos. En el caso de Buenos Aires, en los departamentos donde se registran excesos hídricos, las pérdidas de área bajo cultivo de soja no han sido significativas respecto al comportamiento histórico, y el nivel de producción ha sido compensado por mayores rendimientos. Por lo tanto, no se genera pérdida de índole económica.

Respecto a los valores de pérdida de área en los departamentos afectados (Figura 5), la misma se ubica entre un 5% y un 15% en Córdoba, entre un 15% y un 22% en Santa Fe y alrededor del 25% en Entre Ríos.

En relación al comportamiento de los rendimientos (Figura 6), en los departamentos de Córdoba los rendimientos correspondientes al área cosechada resultan superiores al rendimiento tendencial histórico, mientras que en Santa Fe y Entre Ríos ellos son menores. Esto implica que en el caso de Córdoba, parte de la pérdida de área es compensada por un incremento en los rendimientos del área cosechada.

En el cálculo de la reducción de ingresos, se exploró la pérdida de área promedio de períodos anteriores a los fines de considerar lo ocurrido en campañas sin extremos climáticos. Asimismo, para evaluar la pérdida de producción se aplica el rendimiento tendencial, es decir, aislado de ex-

tremos climáticos. La monetización de la pérdida se realiza aplicando el precio internacional de la soja según cotizaciones del mercado de futuros de Chicago.

Como se observa en la Tabla 3, la pérdida de ingreso por cultivo de soja en el caso de Córdoba asciende a u\$s 222,09 millones, los cuales se generaron en Marcos Juárez (u\$s 100,05 millones), Unión (u\$s 39,95 millones), San Justo (u\$s 73,99 millones) y Juárez Celman (u\$s 8,09 millones). Medida en términos relativos al valor de la producción de la campaña, la pérdida representa el 15,5% en Marcos Juárez, 11,9% en San Justo, 6,4% en Unión y 2,3% en Juárez Celman.

En Santa Fe (Tabla 4), la pérdida en dólares estadounidenses por cultivo de soja asciende a 208,05 millones, la cual fue generada por cinco departamentos: San Martín (63,9 millones), Iriondo (51,5 millones), San Jerónimo (47,7 millones), Belgrano (37,4 millones) y General Obligado (8 millones). Medida en términos relativos, la mayor pérdida de ingreso se registra en San Jerónimo, ascendiendo al 39,2% del valor producido en la campaña analizada, seguido por San Martín (27,1%), Iriondo (29,3%), Belgrano (25%) y General Obligado (20,1%).

Por último, en la provincia de Entre Ríos (Tabla 5), la pérdida por cultivo de soja asciende a u\$s 53,65 millones, la cual fue generada en dos departamentos: Concordia (u\$s 6,47 millones) y Paraná

Tabla 2. Departamentos afectados por los excesos hídricos en las campañas agrícolas 1997/98, 2002/03, 2009/10 y 2015/16.

Departamentos /Provincias Enero 1998	Departamentos /Provincias Enero 2003	Departamentos /Provincias Enero 2009	Departamentos /Provincias Febrero 2016
Ameghino / Bs.As.	Ayacucho/ Bs.As.	Arrecifes/ Bs.As	Adolfo Alsina / Bs.As.
Adolfo Alsina/ Bs.As.	Azul / Bs.As.	Baradero / Bs.As.	Belgrano/Sta. Fe
Bahía Blanca/ Bs.As.	Bahía Blanca/ Bs.As.	Campana/ Bs.As	Caseros/Sta. Fe
Caseros/Sta. Fe	Balcarce/ Bs.As.	Capitán Sarmiento/ Bs.As	Concordia/E.Ríos
Carlos Tejedor/ Bs.As.	Caseros/Sta. Fe	Carmen de Areco/ Bs.As	Cnel. Suarez /Bs.As.
Colón/E. Ríos	Castellanos/Sta. Fe	Caseros/Sta. Fe	Gral- López/Sta. Fe
Concordia/E. Ríos	Colón/Cba.	Colón/ Bs.As	Gral. Villegas/Bs.As.
Cnel. Dorrego/ Bs.As.	Colón/E. Ríos	Colón/E. Ríos	Gral. Roca/Cba.
Cnel. Pringles/ Bs.As.	Concordia/E. Ríos	Concordia/E.Ríos	Guamini / Bs.As.
Federación/E. Ríos	Federación/E. Ríos	Constitución/Sta. Fe	Marcos Juárez/Cba.
Federal/ E. Ríos	Federal/ E. Ríos	Chacabuco/ Bs.As	Iriondo/Sta. Fe
Feliciano/ E. Ríos	Feliciano/ E. Ríos	Diamante/E. Ríos	Pnte.R.Sáenz Peña/Cba.
Garay/Sta. Fe	Garay/Sta. Fe	Exaltación de laCruz/Bs.As	Puán / Bs.As.
Gral. López/Sta. Fe	Gral. Alvarado/ Bs.As.	Federación/E. Ríos	Río Cuarto/Cba.
Gral. Obligado/Sta. Fe	Gral. Belgrano/ Bs.As.	Federal/ E. Ríos	Saavedra / Bs.As.
Gral. Pinto/ Bs.As.	Gral. Guido/ Bs.As.	Feliciano/ E. Ríos	Saniqueló / Bs.As.
Gral. Roca/Cba.	Gral. López/Sta. Fe	Gral. Arenales/ Bs.As	San Jerónimo/Sta. Fe
Gral. Villegas/ Bs.As.	Gral. Madariaga/ Bs.As.	Gral. López/Sta. Fe	San Martín/Sta. Fe
Guamini/ Bs.As.	Gral. Obligado/Sta. Fe	Gualeguay/E.Ríos	Tres Lomas / Bs.As.
Juárez Celman/Cba.	Gral. Pueyrredón/ Bs.As.	Gualeguaychú/E.Ríos	Unión/Cba.
La Paz/ E. Ríos	Gualeguaychú/E. Ríos	Islas de Ibicuy/E. Ríos	
Lincoln/ Bs.As.	La Capital/Sta. Fe	Junín/ Bs.As	
Marcos Juárez/Cba.	La Paz/ E. Ríos	La Paz/ E. Ríos	
Nueve de Julio/ Bs.As.	Las Colonias/Sta. Fe	Leandro N. Alem/ Bs.As	
Nueve de Julio/Sta. Fe	Las Flores/ Bs.As.	Luján/ Bs.As	
Paraná/E. Ríos	Lobería/ Bs.As.	Nogoyá/E. Ríos	
Patagones/ Bs.As.	Maipú/ Bs.As.	Paraná/E. Ríos	
Pellegrini/ Bs.As.	Mar Chiquita/ Bs.As.	Pergamino/ Bs.As	
Pnte.R.Sáenz Peña/Cba.	Marcos Juárez/Cba	Pnte. R. Sáenz Peña/Cba	
Puán/ Bs.As.	Nogoyá/E. Ríos	Ramallo/ Bs.As	
Rivadavia/ Bs.As.	Nueve de Julio/Sta. Fe	Rojas/ Bs.As	
Saavedra/ Bs.As.	Paraná/E. Ríos	Rosario/Sta. Fe	
Salliqueló/ Bs.As.	Pila/ Bs.As.	Salto/ Bs.As	
San Cristobal/Sta. Fe	Puán/ Bs.As.	San Andrés de Giles/Bs.As	
San Javier/Sta. Fe	Rauch/ Bs.As.	San Antonio Areco/Bs.As	
San Justo/Sta. Fe	Saavedra/ Bs.As.	San Fernando/ Bs.As	
San Salvador/E. Ríos	San Cristobal/Sta. Fe	San Lorenzo/Sta. Fe	
Tala/ E. Ríos	San Justo/Sta. Fe	San Nicolás/ Bs.As	
Trenque Lauquen/Bs.As.	San Justo/Cba.	San Pedro/ Bs.As	
Tres Arroyos/ Bs.As.	San Javier/Sta. Fe	San Salvador/E.Ríos	
Tres Lomas/ Bs.As.	San Jerónimo/Sta. Fe	Tala/ E.Ríos	
Tornquist/ Bs.As.	San Salvador/E.Ríos	Uruguay/E. Ríos	
Unión/Cba.	Tala/ E.Ríos	Victoria/E. Ríos	
Uruguay/E. Ríos	Tandil/ Bs.As.	Villaguay/E. Ríos	
Vera/Sta. Fe	Tornquist/ Bs.As.	Zárate/ Bs.As	
Villaguay/E. Ríos	Uruguay/E. Ríos		
Villarino/ Bs.As.	Vera/Sta. Fe		
	Villaguay/E. Ríos		
	Villarino/ Bs.As.		

(u\$s 47,18 millones). En términos relativos, la mayor pérdida de ingreso se registra en Paraná, ascendiendo al 40,2% del valor producido en la campaña analizada, seguido por Concordia (36,2%).

En resumen, la pérdida asciende a u\$s 483,79 millones, y se registró en tres de las cuatro provincias analizadas. En primer lugar, el monto es sustancialmente inferior a las pérdidas generadas por eventos de sequía extrema. A modo de ejemplo, la pérdida de ingreso por la sequía ocurrida en el 2012 se estimó en aproximadamente u\$s 2.606 millones (Thomasz *et al.*, 2016, Thomasz *et al.*, 2017). En segundo lugar, se registra una diferencia sustancial en los niveles de pérdida relativa. Mientras que los departamentos de Córdoba, la misma asciende como máximo al 15%, en Santa Fe se ubica entre el 20% y el 39% y en Entre Ríos entre el 36% y el 40%. En el caso de Córdoba, como fue dicho, la pérdida de área es parcialmente compensada por un incremento en el rendimiento del sector cosechado.

CONCLUSIONES

Se determinó la existencia de una relación estrecha entre la ocurrencia de El Niño y los excesos

hídricos en la pradera pampeana. Sin embargo, la distribución geográfica de esos excesos es sumamente variable. Algunas áreas verán sus cultivos beneficiados por excesos moderados mientras que otras serán perjudicadas por excesos conducentes a procesos de anegamiento y aún inundaciones. A diferencia de las sequías extremas, que pueden tener impactos macroeconómicos (Thomasz *et al.*, 2017; Thomasz *et al.*, 2016), los excesos hídricos valuados en este trabajo tienen efecto a escala local, y son muy dispares en los distintos departamentos afectados de la región analizada.

El análisis agro-económico muestra que los efectos resultan muy dispares a lo largo de los diferentes territorios analizados: departamentos que registran excesos hídricos y que por compensación no registran pérdidas a nivel agregado, y otros donde la producción es profundamente afectada llegando a una pérdida que representa hasta el 40% de la producción. Asimismo, departamentos más pequeños, donde las posibilidades de compensación son menores, arrojarían mayores pérdidas en términos relativos. Al margen de las particularidades, en términos generales puede afirmarse que la expansión de la frontera agrícola, el proceso de sojización y el sostenimiento de elevados precios internacionales de este cultivo generan que

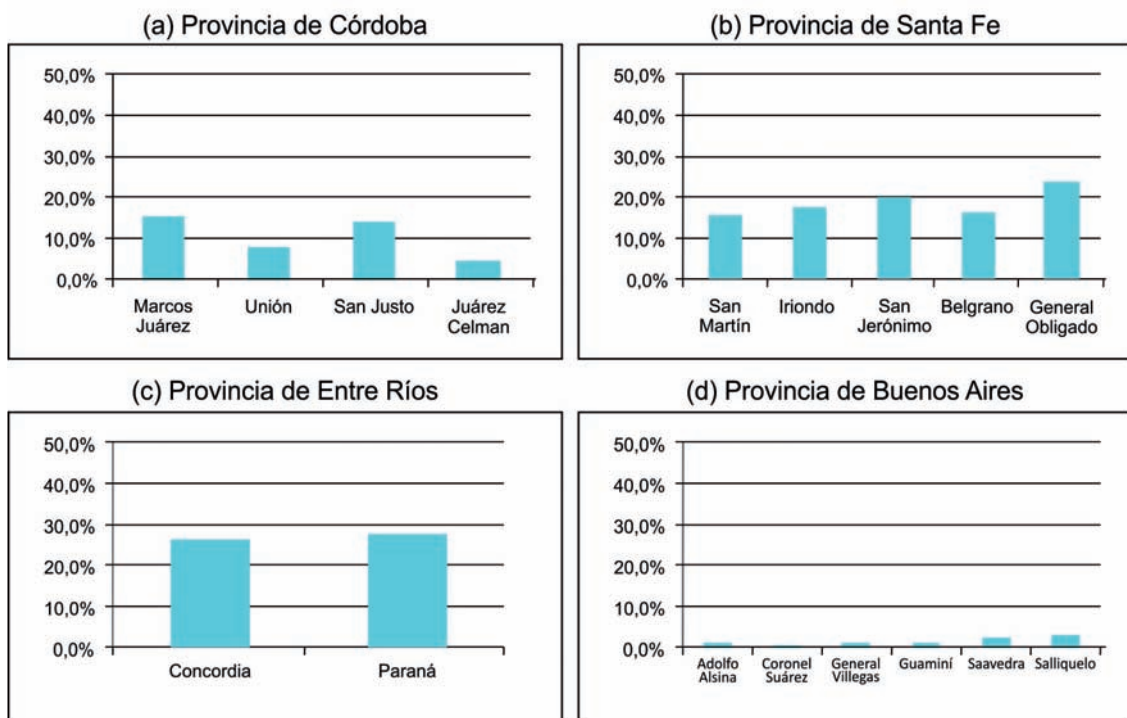


Figura 5. Pérdida de área bruta (%) en departamentos afectados por los excesos hídricos (Fuente: Ministerio de Agroindustria de la Nación)

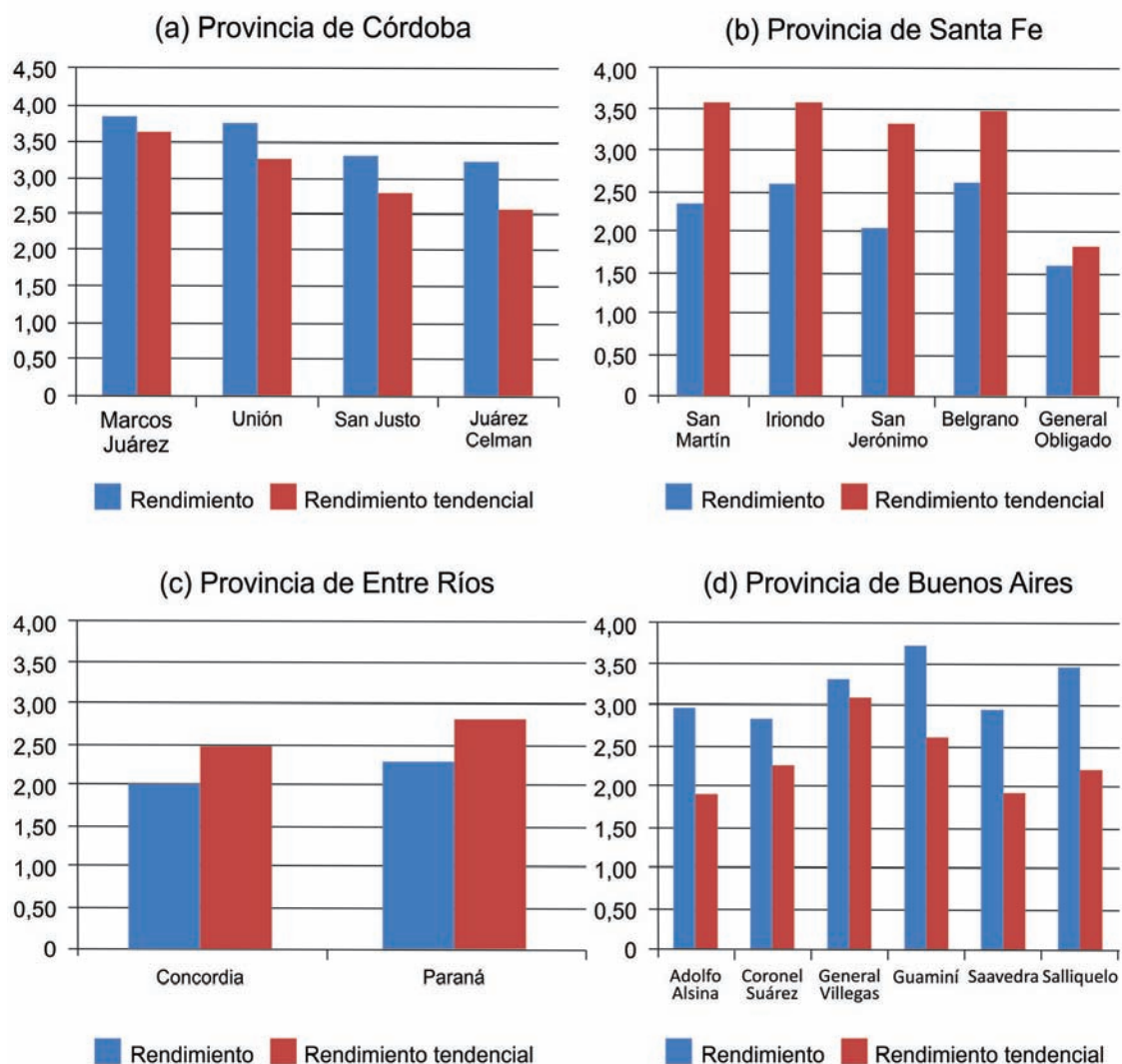


Figura 6. Rendimientos (tn/ha) en la campaña 2015/16 y rendimientos tendenciales (tn/ha) (Fuente: Ministerio de Agroindustria de la Nación)

Tabla 3. Pérdidas de ingreso en producción de soja a nivel de departamento. Provincia de Córdoba, campaña 2015/16

Departamento	Pérdidas en millones de u\$s	Pérdidas relativas
Marco Juárez	100,05	15,5%
Unión	39,95	6,4%
San Justo	73,99	11,9%
Juárez Celman	8,09	2,3%
TOTAL	222,09	

Fuente: Datos del Ministerio de Agroindustria de la Nación y de Chicago Board of Trade

Tabla 4. Pérdidas de ingreso en producción de soja a nivel de departamento. en la provincia de Santa Fe, campaña 2015/16

Departamento	Pérdidas en millones de u\$s	Pérdidas relativas
San Martín	63,9	27,1%
Iriondo	51,5	29,3%
San Jerónimo	47,7	39,2%
Belgrano	37,4	25,0%
General Obligado	8,0	20,1%
TOTAL	208,05	

Fuente: Ministerio de Agroindustria de la Nación y Chicago Board of Trade

Tabla 5. Pérdidas de ingreso en producción de soja a nivel de departamento. Provincia de Entre Ríos, campaña 2015/16

Departamento	Pérdidas en millones de u\$s	Perdidas relativas
Concordia	6,47	36,2%
Paraná	47,18	40,2%
TOTAL	53,65	

Fuente: Ministerio de Agroindustria de la Nación y Chicago Board of Trade

las pérdidas medidas en términos económicos sean muy superiores a las que se registraron en el pasado. La valuación económica de los excesos hídricos presentada en este trabajo, la cual debe ser profundizada, brinda lineamientos importantes para evaluar la viabilidad económico-financiera de invertir en infraestructura de adaptación al riesgo climático.

AGRADECIMIENTOS

Al D.G. Alejandro Barbeito por la preparación de las ilustraciones y al Ing.Agr. José Santa por las figuras de los índices agrometeorológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrovoz 2017. Diario la Voz del Interior. Sec. Agricultura. El trigo cae en la batalla contra el agua: elevan a 300 mil las hectáreas perdidas. Consultada en: www.agrovoz.lavoz.com.ar
- Ameghino, F. 1985. Las Secas y las Inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. "Obras de Retención y no Obras de Desague". Ministerio de Asuntos Agrarios de Buenos Aires 1884-1984. 5ta Edición. La Plata 1984.
- Baethgen, W.E., 2008. Climate Risk Management and Adaptation to Climate Change. In: Uruguay, Climate Change Here and Now. Supplementary document for the UNDP Report on Human Development. UNDP Uruguay, Montevideo.
- Borden, K., M. Schmidlein, C Emirich, W. Piegorsch, S. Cutter, (2007). "Vulnerability of U.S. Cities to Environmental Hazards". Journal of Homeland Security and Emergency Management.
- BCC, 2016. Bolsa de Cereales de Córdoba. Consultada en <http://www.agrovoz.com.ar/actualidad/lasinundaciones-dejan-una-perdida-de-13000-millones-en-cordoba>.
- CEPAL. 2010. Istmo Centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura. Sede Subregional en México. Consultado en: www.cepal.org/es/sedes-y-oficinas/cepal-mexico
- CEPAL. 2014. La economía del cambio climático en la Argentina. Primera aproximación. Impreso en Naciones Unidas. Santiago de Chile. Consultado en: www.cepal.org/publicaciones/35901-la-economia-del-cambio-climatico-en-la-Argentina-primer-a-proximacion.
- CREAN, 2017. Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales, CONICET/UNC. Monitoreo de Sequías. Consultada en: crean.org.ar/monitoreo.
- Cutter, S., 2003. Social Vulnerability Index (SOVI) for the United States. University of South Carolina. Hazards & Vulnerability Research Institute.
- Heinzenknecht, G. 2011. Proyecto riesgo y seguro agropecuario. Oficina de Riesgo Agropecuario. Consultada en: www.ora.gov.ar/informes/enso.pdf.
- Hinkel J., 2011. Indicators of vulnerability and adaptive capacity: towards a clarification of the science-policy interface. Global Environmental Change, vol. 21, Issue 1, pp. 198-208.
- Hyun-Suk Shin and J. D. Salas, 2000. Regional Drought analysis Based on Neural Networks. Journal of Hydrologic Engineering Vol.5:2 (145). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2000\)5:2\(145\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2000)5:2(145))
- IRI, 2015. Pronóstico del ENOS con diferentes modelos. Consultado en http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/currentinfo/SST_table.html
- Jobbágy, E., 2016. Preocupante aumento del área anegada en la región pampeana. Consultada en www.todociencia.com.ar.
- Jobbágy, E., 2016. El suelo no absorbe el agua. Consultada en www.pagina12.com.ar
- Kim, T., J. B., Valdés and J. Aparicio, 2002. Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos River basin, Mexico. Water International, IWRA, 27(3), 420-430.
- Kogan, F.N., 1997. Global Drought Watch from Space. Bulletin of the American Meteorological Society, 78, 621-636.
- Letson, D., C. E. Laciana, F. E. Bert, E. U. Weber, R. W. Katz, X. I. Gonzalez, and G.P. Podestá, 2009. Value of perfect ENSO phase predictions for agriculture: evaluating the impact of land tenure and decision objectives. Climatic Change 97, no. 1-2: 145-170.
- Lozanoff, J. y Cap E., 2006. El impacto del cambio climático sobre la agricultura Argentina: Un estudio económico. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. Argentina.
- McKee, T. B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. Boston, Massachusetts pp. 179-184.
- Magrin, G., C. Gay García and D. Cruz Choque, 2007. Latin America in: ML Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds). Climate Change, 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

- Contribution of Working Groups II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, pp. 581-615. Cambridge University Press.
- Ministerio de Agroindustria de la Nación, 2017. Datos Agroindustriales, Estimaciones agrícolas. Consultada en <https://www.agroindustria.gob.ar/datos-abiertos/dataset/estimaciones-agricolas/archivo/>
- Murgida A. M., M.I. Travasso, S. González y G.R. Rodríguez, 2014. Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la Argentina. Serie medio ambiente y desarrollo. No. 155. Naciones Unidas. Santiago, Chile.
- NOAA, 2017. Valores del Índice Oceánico de El Niño (ONI). Consultada en www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html.
- NOAA, 2016. Land and Ocean Temperature Percentiles Aug 2016. Data Source: GHCN-M versio 3.3.0 & ERSST version 4.0.0. Consultada en www.cpc.ncep.noaa.gov/
- Ortiz de Zarate, M. J., J.J. Ramayon y A.L. Rolla, 2014. Agricultura y Ganadería impacto y vulnerabilidad al cambio climático. Posibles medidas de adaptación. 3ra. Comunicación Nacional de la República Argentina en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático.
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. Documento de Investigación N° 45, Oficina Meteorológica del Departamento de Comercio, Washington, D.C.
- Palmer, W.C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new Crop Moisture Index - Weatherwise, 21:156-161.
- Peters, A.J., E.A. Walter-Shea, L. Ji, A. Viña, M. Hayes and M.D. Svoboda, 2002. Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol 68 (1):71-75.
- Podestá, G. P., C. E. Natenzon, C. Hidalgo, and F. Ruiz Toranzo, 2013: Interdisciplinary production of knowledge with participation of stakeholders: a case study of a collaborative project on climate variability, human decisions and agricultural ecosystems in the Argentine Pampas. Environmental Science & Policy 26 40-48.
- Podesta G., D. Letson, C. M. F. Royce, A. Ferreyra, J. Jones, J. Hansen, I. Llovet, M. Grondona, and J. J. O'Brien, 2002. Use of ENSO-related climate information in agricultural decision making in Argentina: a pilot experience. Agricultural Systems 74, no. 3: 371-392.
- Ravelo, A.C., R. E. Zanvettor y P.E.C. Boletta, 2014 (a). Atlas de sequías de la República Argentina. Versión digital en www.crean.unc.edu.ar ISBN 978-950-33-1195-0
- Ravelo, A.C., R. Sanz Ramos y J.C. Douriet Cardenas, 2014 (b). Detección, evaluación y pronóstico de las sequías en la región del Organismo de cuenca Pacífico Norte, México. *AgriScientia* Vol. 31(1):11-24.
- Ravelo A.C., J.C. Douriet, R.R. Sanz and A.I. Ramírez, 2015. Assessing Drought Vulnerability and Risk in Sinaloa, México. Conferencia sobre las sequías. Valencia, España. ICD 2015.
- Ravelo, A.C. y A.J. Pascale, 1997. Identificación de ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre. *Rev. Fac. de Agronomía* 17(1):105-107.
- SMN 2017. Servicio Meteorológico Nacional, Estadísticas Climatológicas; Datos de precipitación mensual período 1970-2017.
- Tannura, M.A., S.H. Irwin, and D.L. Good. 2008. Weather, Technology, and Corn and Soybean Yields in the U.S. Corn Belt. Marketing and Outlook Research Report 2008-01, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Thomasz, E., G. Rondinone, A. Vilker, 2016. The economic cost of extreme and severe droughts in soybean production in Argentina. *Revista Contaduría y Administración*, Universidad Autónoma de México (en evaluación).
- Thomasz, E., G. Rondinone, A. Vilker y M. Eriz, 2017. El impacto económico de los eventos climáticos extremos en Argentina: el caso de la soja en la zona núcleo ¿Riesgo climático o déficit de infraestructura?. Consultado en <http://www.economicas.uba.ar>
- Viglizzo, E. F. y E. Jobbágy, 2010. Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental. Ediciones INTA. ISBN N° 978-987-1623-83-9.
- Zanvettor, R.E., A.C. Ravelo, A.M. Planchuelo y R. A. Seiler, 2016. Monitoreo, Evaluación y Pronóstico de los Extremos Hídricos en la Región Pampeana Argentina. RALDA 2016, XVI Reunión Argentina y VIII Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Puerto Madryn, Chubut, Argentina ISBN 978-987-42-2098-1

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

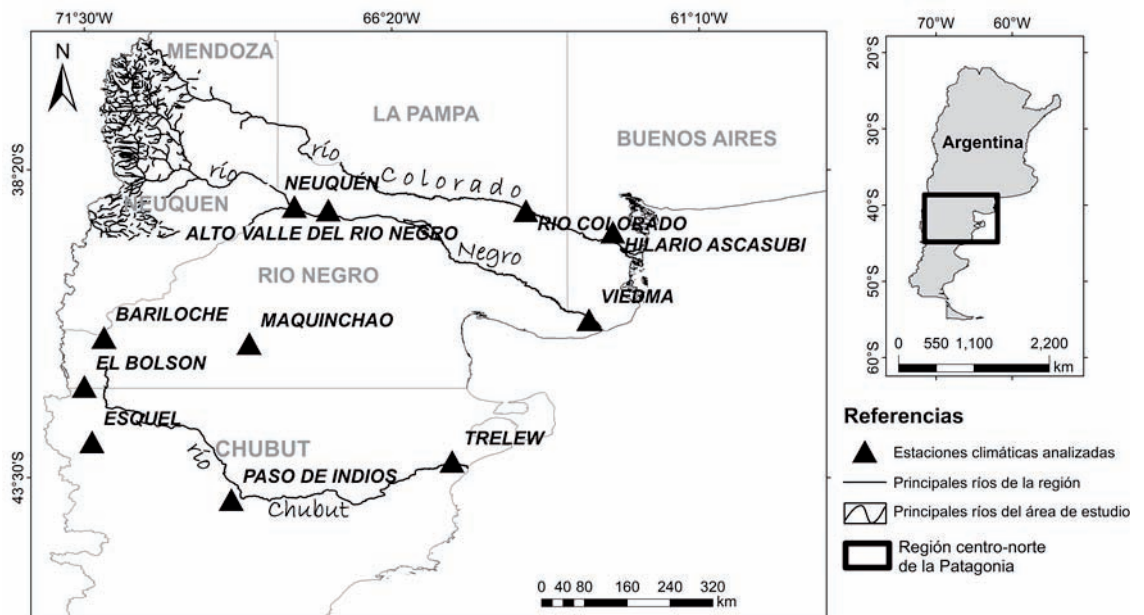


Figura 1. Ubicación de la región centro norte de la Patagonia argentina y de las estaciones climáticas que se analizaron.

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 la 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 ocular '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 primavero-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
Río 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).

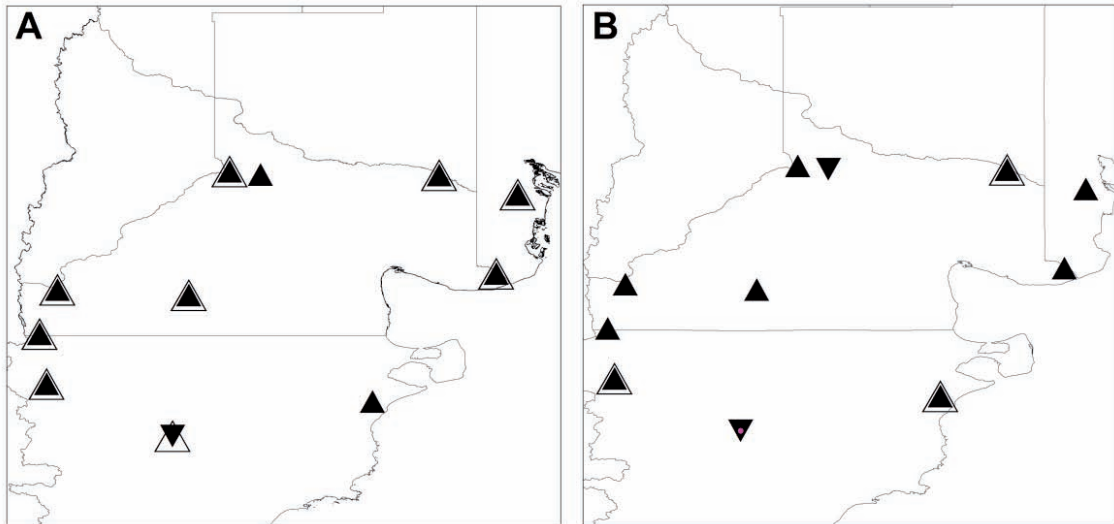


Figura 2. Tendencia de la temperatura media anual para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas. Los triángulos en sentido descendente significan que la tendencia fue negativa mientras que los ascendentes, positiva. A su vez, las líneas que rodean los triángulos indican significancia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

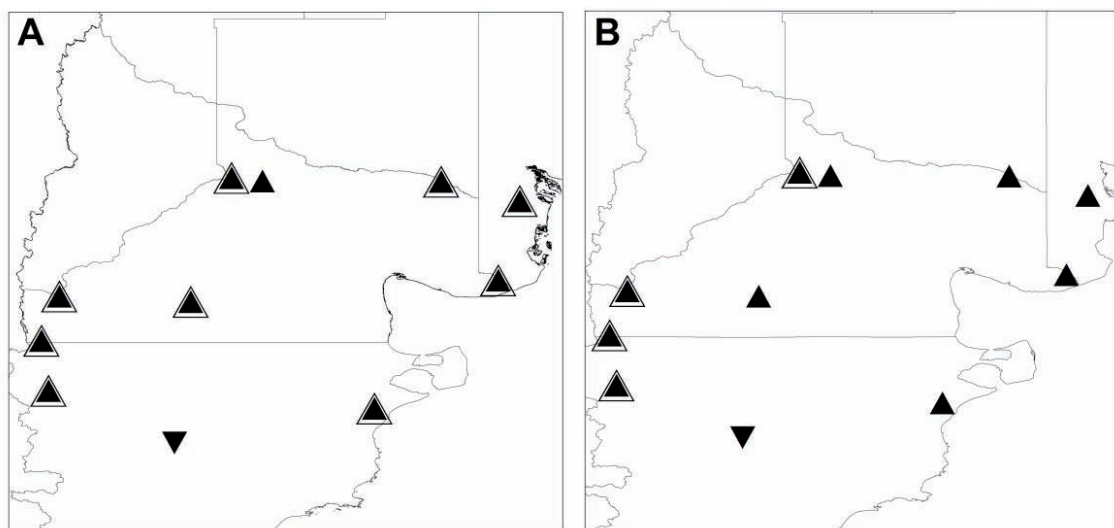


Figura 3. Tendencia de la temperatura media del mes de enero para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

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.

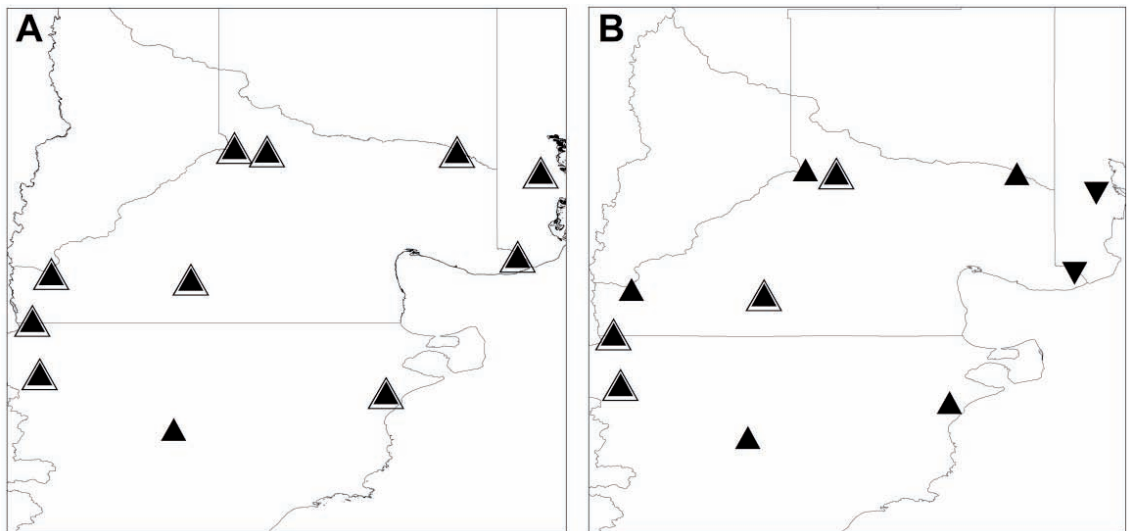


Figura 4. Tendencia de la temperatura máxima media del mes de enero para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

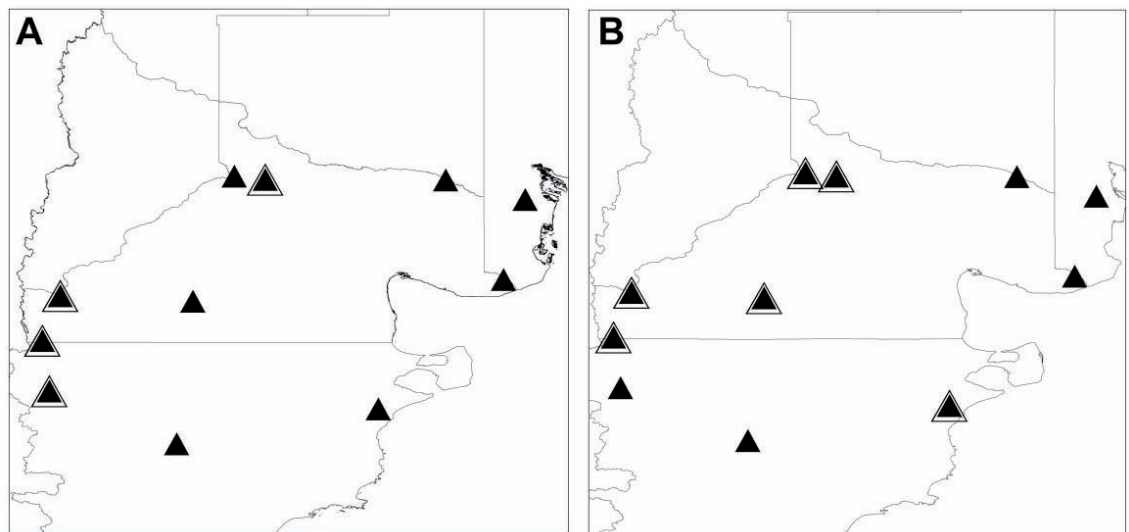


Figura 5. Tendencia de la temperatura máxima absoluta del mes de enero para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

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).

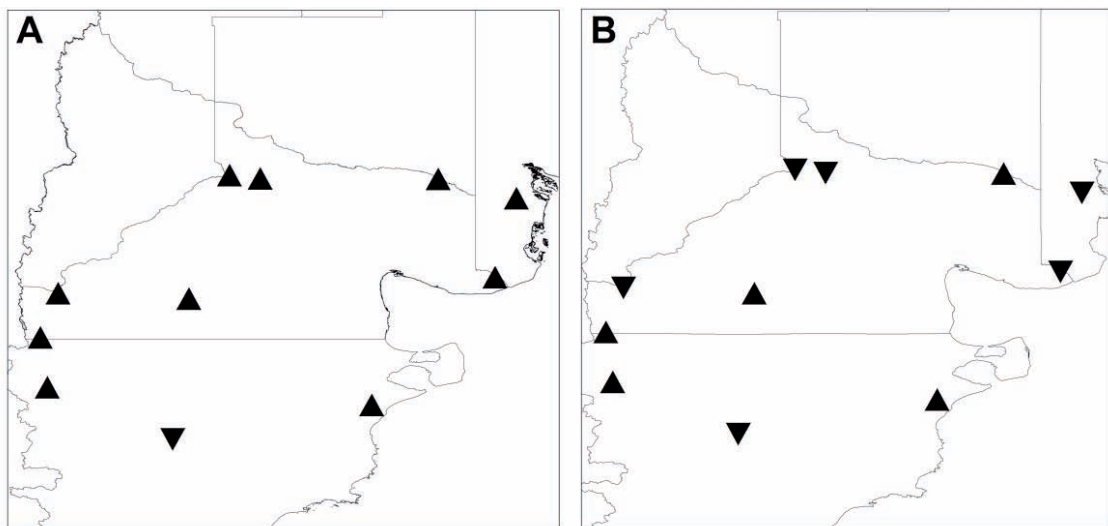


Figura 6. Tendencia de la temperatura media del mes de julio para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas

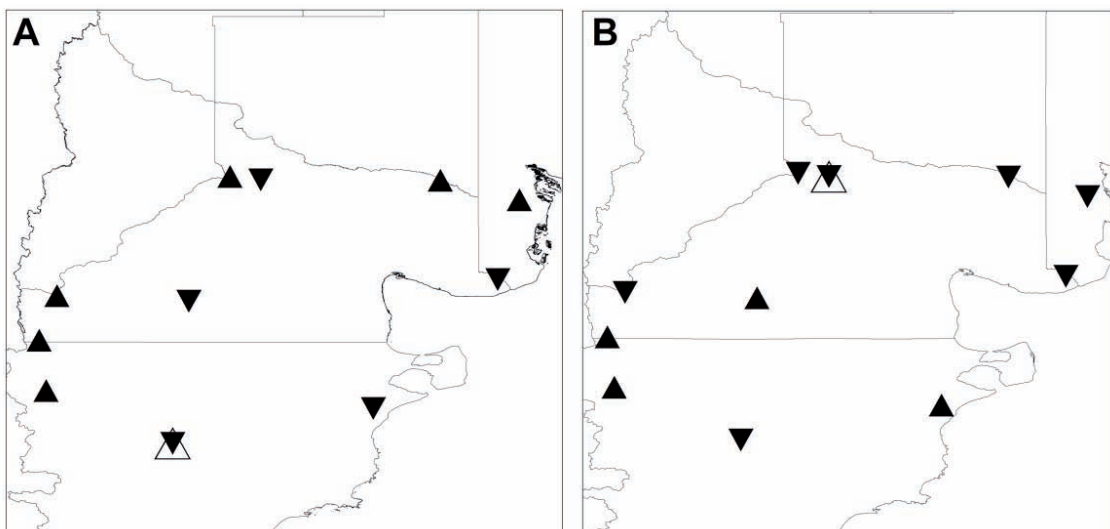


Figura 7. Tendencia de la temperatura mínima media del mes de julio para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

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).

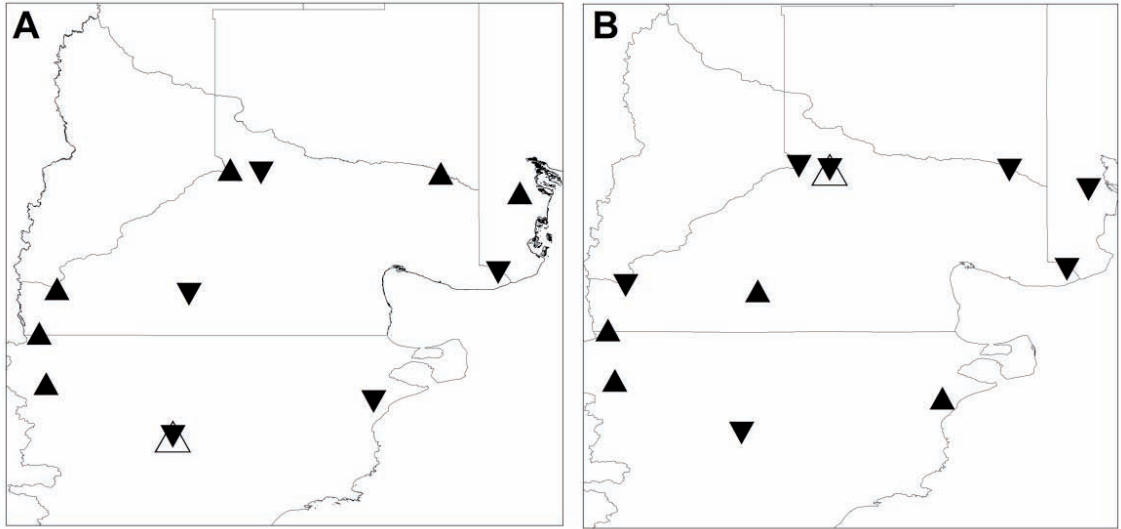


Figura 8. Tendencia de la temperatura mínima absoluta del mes de julio para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

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).

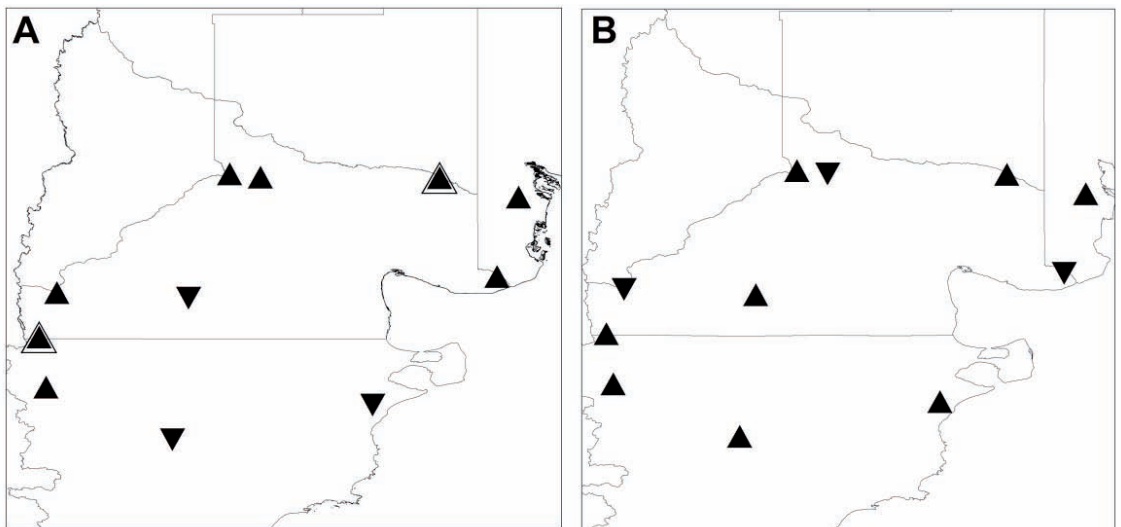


Figura 9. Tendencia de la suma térmica durante agosto – octubre para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

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 significativas 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).

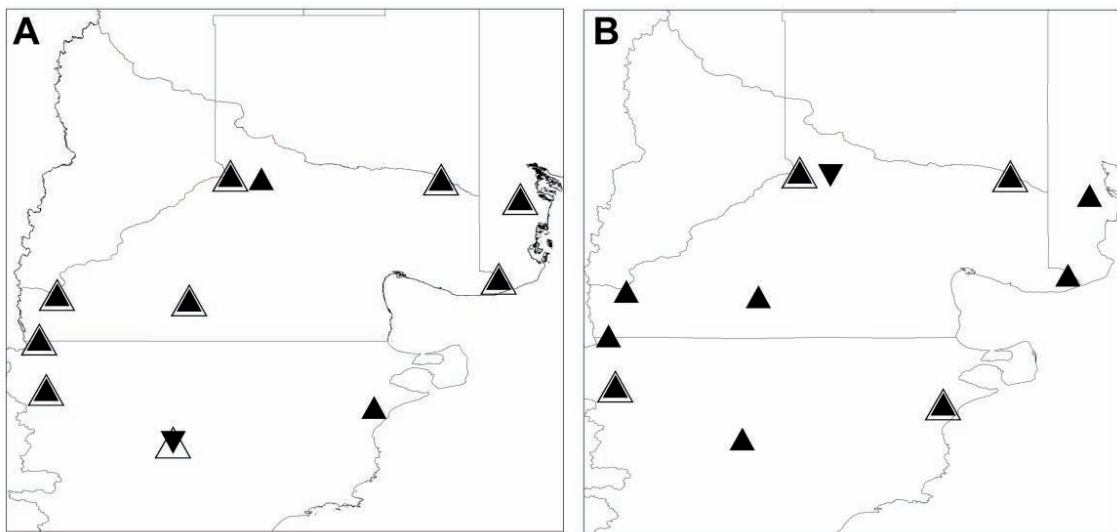


Figura 10. Tendencia de la suma térmica durante agosto – marzo para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

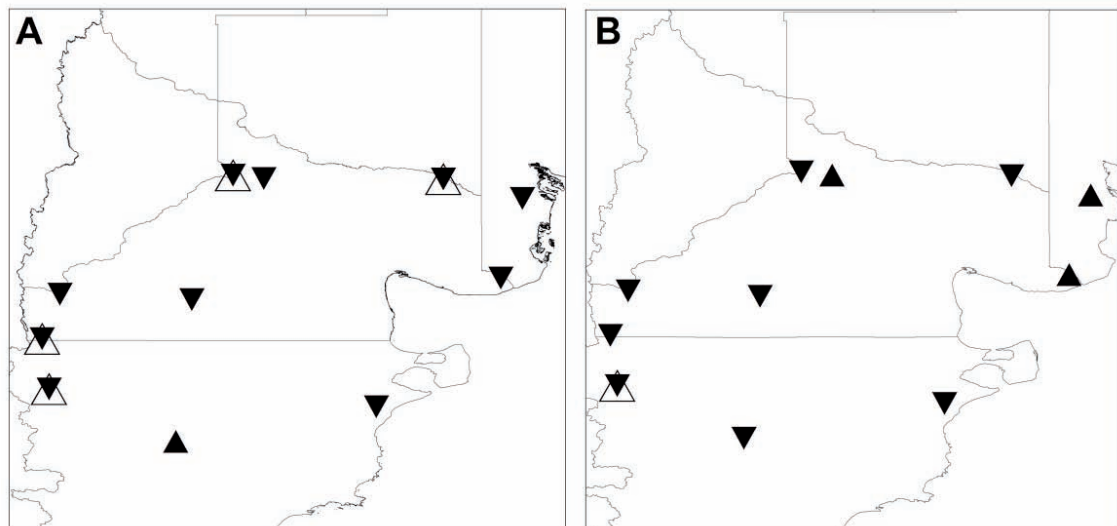


Figura 11. Tendencia de la acumulación de horas de frío para el período 1970-2016 (A) y 1997-2016 (B) en las estaciones analizadas.

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 primaveral-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. Termopluriometría 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- S AyDS- 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.

Indices de cambio climático en Anguil: tendencias del periodo 1961-2016

Belmonte, M.L.

RESUMEN

Durante las últimas décadas se han observado cambios climáticos en Sudamérica, con mayor frecuencia de eventos extremos, aumento de noches cálidas y disminución de noches frías. En la región central argentina disminuyeron los días con heladas y la precipitación tiende al aumento. Este trabajo tuvo como objetivo analizar tendencias anuales y estacionales de temperatura y precipitación, a partir de índices de cambio climático propuestos por la Organización Meteorológica Mundial, utilizando datos diarios de Anguil en la región central de la Argentina. En el periodo evaluado (1961/2016) se hallaron tendencias anuales positivas en la cantidad de noches cálidas y tropicales, periodos calientes, temperatura mínima diaria, días con lluvia más intensa y cantidad de precipitación anual. Tendencias negativas se encontraron en cantidad de días con heladas y noches frías, en amplitud térmica diaria, y en cantidad de días secos consecutivos. Características que han sido atribuidas al cambio climático como el incremento de temperatura, cambios en los comportamientos de las precipitaciones e incremento de eventos extremos, han sido encontradas en este trabajo. Deberán continuarse los análisis con series temporales más largas. Trabajos posteriores deberán evaluar cómo estos cambios inciden de manera positiva o negativa en el ciclo de los cultivos de la región.

Palabras Clave: temperatura, precipitación, eventos extremos

Belmonte, M.L. 2017. Thermal and pluviometric indicators of climate change in Anguil: trends of the period 1961-2016 RADA VIII: 29-42

SUMMARY

During the last decades, climatic changes have been observed in South America, with more frequent extreme events, increase of warm nights and decrease of cold nights. In the central Argentine region the days with frost diminished and the precipitation tends to increase. The objective of this work was to analyze annual and seasonal temperature and precipitation trends, based on climate change indexes proposed by the World Meteorological Organization, using daily data from Anguil in the central region of Argentina. In the period evaluated (1961/2016), there were positive annual trends in the number of warm and tropical nights, hot periods, minimum daily temperature, days with more intense rainfall and amount of annual precipitation. Negative trends were found in number of days with frost and cold nights, in daily thermal

amplitude, and in number of consecutive dry days. Characteristics that have been attributed to climate change, such as temperature increase, changes in precipitation behavior and increase in extreme events, have been found in this work. Analyzes with longer time series should be continued. Further work should assess how these changes have a positive or negative impact on the crop cycle in the region.

Key words: temperature, precipitation, extreme events

M.L. Belmonte, Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Anguil (6326), La Pampa, Argentina. Correspondencia a: belmonte.maria@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un amplio consenso científico de que el cambio climático (CC) es un hecho inequívoco. Las investigaciones también señalan una tendencia creciente en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos en los últimos cincuenta años y se considera probable que las altas temperaturas, olas de calor y fuertes precipitaciones, continuarán siendo más frecuentes en el futuro (Field, 2014). Durante las últimas décadas en América Latina se han observado importantes cambios en la precipitación y aumentos en la temperatura. En el sur de Sudamérica y en la Argentina en particular, se evidencian aumentos significativos en la ocurrencia de noches cálidas y disminución de noches frías, condiciones que determinan un aumento en la temperatura mínima (Vincent *et al.*, 2005), en coincidencia con estudios más globales en más regiones del mundo como Alexander *et al.*, (2006) o Caesar *et al.*, (2006), lo cual modificó la amplitud térmica, con tendencia a la disminución de la misma (Vose *et al.*, 2005). Del informe sobre los estudios de los cambios climáticos observados en Argentina que se realizó para la tercera comunicación a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre CC, se desprende que el número de noches cálidas aumentó en forma estadísticamente significativa en el norte y este del país. Disminuyó en Cuyo y Patagonia, aunque en estas dos regiones, o bien los casos han sido muy escasos o la disminución fue muy pequeña (Agosta y Barrucand, 2012). Las olas de calor aumentaron en el este y norte del país (Rusticucci *et al.*, 2014). En análisis estacionales y con respecto a los meses del semestre frío (abril a sep-

tiembre) se destaca un aumento en la frecuencia de noches cálidas, excepto en julio que presenta una tendencia negativa en el centro-este del país (Barrucand, 2008). En análisis a nivel regional, Fernández Long *et al.*, (2012) estudiaron la evolución temporal de las temperaturas máximas y mínimas en distintas localidades de las provincias San Luis, Santiago del Estero, Córdoba y La Pampa en el periodo 1940-2007. Estos autores encontraron que regionalmente la temperatura máxima tiende a la disminución mientras que la temperatura mínima va en aumento. Esta evolución temporal no es tan evidente cuando se analizan las series a partir de 1975. En este sentido, el trabajo de Barrucand y Rusticucci (2001) mostró que en la mayoría de las estaciones estudiadas ubicadas en la región Centro, hubo una importante disminución de la frecuencia de temperaturas mínimas frías de verano desde fines de la década del 70, seguido posteriormente con un aumento de la frecuencia de temperaturas máximas cálidas en el invierno. Vargas *et al.*, (2006) analizaron las tendencias de temperaturas diarias extremas de las estaciones Santa Rosa (La Pampa), Pilar (Córdoba) y San Miguel de Tucumán en el periodo 1960-2000; la temperatura mínima tuvo un incremento en el promedio anual mientras que la temperatura máxima registró un enfriamiento significativo en ese período. En la Región Centro del país hubo una disminución progresiva de la cantidad de días con heladas. La zona oeste de esta región es la que tuvo mayor disminución en relación al resto del área. En el periodo 1960-2010 la precipitación aumentó en casi todo el país. Los incrementos de más de 100 mm en algunas zonas semiáridas tuvieron un efecto importante en el proceso de agriculturización de esas zonas (Castañe-

da y Barros 1994; Barros *et al.*, 2000; Barros *et al.*, 2008; Doyle *et al.*, 2012) y también han cambiado sus características productivas, frente a una mayor ocurrencia de lluvias más intensas (Re y Barros, 2009, Peñalba y Robledo, 2010). Asimismo y para la región Centro de Argentina, Barros *et al.*, (2000) describieron los cambios en la precipitación anual, identificando un desplazamiento de la isoyeta de 600 mm hacia el oeste en 100 a 200 kilómetros en la mayor parte de la región durante la segunda mitad del siglo XX, resultado del aumento de la lluvia hasta esa fecha. Naumann *et al.* (2012) observaron aumentos significativos de precipitación extrema en la primavera para La Pampa. Según Russián *et al.* (2010), la distribución estadística de la precipitación estacional en la provincia de La Pampa en el período 1969-2006 se modificó con menores frecuencias debajo de la media y una ligera mayor frecuencia en los extremos más altos.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través de un equipo de expertos "Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) desarrolló un set de 27 índices climáticos útiles para la detección y el monitoreo de cambios en los extremos del clima. Para el cálculo y análisis de estos índices se requieren series largas e ininterrumpidas de registros meteorológicos. Argentina cuenta con observatorios meteorológicos oficializados bajo las normas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) distribuidos en distintas localidades a lo largo y ancho del país. Uno de ellos se encuentra en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) situado en Anguil, provincia de La Pampa, que cuenta con registros climáticos desde el año 1961.

El objetivo de este trabajo fue calcular índices climáticos y sus tendencias temporales, a partir de registros diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación registrados en la estación meteorológica de Anguil en el periodo 1961-2016. De esta manera contribuir con otro sitio de observación que aporte información al análisis del CC en la región central de la Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

La localidad de Anguil se encuentra ubicada en el centro-este de la provincia de La Pampa, en la Región Pampeana Argentina. La precipitación promedio es de 770 mm y el promedio anual de temperatura es de 15,4 °C. En relación a la temperatura del aire en la región quedan definidas dos estaciones bien diferenciadas, el invierno caracterizado por el valor promedio del mes más frío del

año (julio) que es de 8,0 °C y el verano caracterizado por el mes más cálido (enero) cuya temperatura media es de 23,9°C. Las temperaturas máximas absolutas en abrigo registraron valores de hasta 44,5°C y las mínimas absolutas con valores hasta -13,2°C (Belmonte *et al.*, 2017). El clima de la región admite la siembra y desarrollo de cultivos en seco. Los principales cultivos de cosecha son el trigo en época invernal y el girasol, maíz, soja y sorgo en época estival.

Para este trabajo se utilizó la información del observatorio meteorológico de la EEA del INTA. Su ubicación es de 36° 30' S y 63° 59' O, y a 165 metros sobre el nivel del mar. La estación se encuentra instalada desde el año 1957 en el mismo sitio, sin haber modificado su ubicación hasta la actualidad, dispone de instrumental homologado, y obtiene los registros siguiendo normas tanto de instrumental como de observación impuestas por el SMN.

Se utilizaron datos diarios de temperaturas máxima y mínima obtenidas en abrigo meteorológico a 1,5 metros de altura y de precipitación medida en pluviómetro de tipo B ubicado a 1,5 metros de altura. El periodo de datos fue desde 1961 a 2016. Del total de la serie hubo 401 datos faltantes de temperatura máxima y 94 datos faltantes de temperatura mínima, entre 1961 y 1966, lo que equivale a un 0,8% del total de datos utilizados.

Para la obtención de los índices se utilizó el módulo R-Climdex 1.0 desarrollado por el departamento de investigación climática del servicio meteorológico de Canadá y ejecutado en R versión 3.3.1 (Zhang y Feng, 2004). A los datos se les aplicó un control de calidad (Quality Control) que provee el mismo módulo R-Climdex como requisito para el cálculo de los índices. Este análisis de consistencia tiene en cuenta la existencia de valores fuera de un rango posible "outliers" y otros errores tales como temperaturas máximas inferiores a la mínima, entre otros.

Se calcularon catorce índices climáticos, cuatro asociados a eventos extremos de temperatura, seis asociados al comportamiento de la temperatura mínima y máxima y cuatro asociados al comportamiento de la precipitación y eventos extremos de lluvia (Tabla 1). Los índices fueron calculados en forma anual y mensual, en algunos casos, a partir de éstos, se obtuvieron valores estacionales. Los índices extremos fueron basados en los percentiles 10 y 90, tal como lo define el ETCCDMI. Se introdujeron para el cálculo los umbrales de temperatura: 25°C para temperatura máxima diaria y 20°C como umbral superior de temperatura mínima diaria. Se graficaron las series anuales, junto con las tenden-

cias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y regresión lineal con ponderamientos locales para evaluar las tendencias parciales. Se presentaron sus estadísticas de ajuste y su significancia estadística. Para los índices extremos de temperatura y para la amplitud térmica además

se realizó un análisis de tendencias a escala estacional, para ello se consideraron las series promediadas cada tres meses, siguiendo la clasificación tradicional para el Hemisferio Sur: Dic-Ene-Feb (verano), Mar-Abr-May (otoño), Jun-Jul-Ago (invierno), Set-Oct-Nov (primavera).

Tabla 1. Descripción de los índices climáticos calculados y sus unidades. (*) Asociados a eventos extremos de temperatura, (**) asociados al comportamiento de la temperatura mínima y máxima, (+) asociados al comportamiento de la precipitación y de eventos extremos de lluvia.

TN10*	Noches frías: porcentaje de días con temperatura mínima menor al percentil 10	días
TN90*	Noches cálidas: porcentaje de días con temperatura mínima mayor al percentil 90	días
TX10*	Días fríos: porcentaje de días con temperatura máxima menor al percentil 10	días
TX90*	Días calientes: porcentaje de días con temperatura máxima mayor al percentil 90	días
DTR**	Rango diurno de temperatura: diferencia media mensual entre temperatura máxima y temperatura mínima	°C
FDO**	Días de heladas: Número de días en un año cuando la temperatura mínima diaria es igual o menor a 0°C	días
TR20**	Noches tropicales: Número de días en un año cuando la temperatura mínima es mayor a 20°C	días
TNx**	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
SU25**	Días de verano: número de días en un año cuando la temperatura máxima es mayor a 25°C	días
WSDI**	Duración de períodos calientes	días
CDD +	Días secos consecutivos: número máximo de días consecutivos con lluvia menor a 1 mm	días
PRCPTOT +	Precipitación total anual	mm
RX1day +	Cantidad máxima anual de precipitación en 1 día	mm
R10 +	Días con lluvia mayor a 10 mm	días

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índices térmicos

La tendencia anual del índice TX90 (porcentaje de días calientes) resultó negativa hasta 1993, a partir de ese año se hace positiva, donde alcanza su pico más alto en 2013 con 21,4% y el mínimo ocurrió en el año 2000 con 2,2% (Fig. 1). La tendencia estacional fue positiva sólo durante invierno (Tabla 2).

TX10 (porcentaje de días fríos) presentó tendencia anual positiva hasta 1993, luego cambia de sentido y alcanza su valor más bajo en 2006 con 4,5%, en tanto el valor máximo se alcanzó en el año 1972 con 16,5% (Fig. 2). La tendencia estacional de este índice resultó negativa durante invierno y primavera, positiva en verano y sin clara tendencia en el otoño (Tabla 2).

El porcentaje de noches cálidas o TN90 presentó tendencia positiva ($p < 0,01$) durante toda la serie de años analizada (Tabla 3). Su valor mínimo fue en 1974 con 4,5% y alcanzó su valor máximo en 2012 con 22,2% (Fig. 3). La tendencia estacional fue positiva en otoño, primavera y verano y sin una ten-

dencia clara durante el invierno (Tabla 2). El índice de noches frías o TN10 presentó tendencia de la serie anual negativa ($p < 0,01$), su valor mínimo fue alcanzado en 1997 con 3% y su valor máximo en 1971 con 20,2% (Fig. 4). La tendencia estacional resultó negativa para las cuatro estaciones del año (Tabla 2). La tendencia encontrada para este índice concuerda con los resultados obtenidos para la estación Santa Rosa por Barrucand (2008) en el periodo 1959-2003 y con los resultados a escala continental hallados por Vincent *et al.* (2005) para Sudamérica durante el periodo 1960-2000, con los índices basados en temperaturas mínimas, donde aumentó el porcentaje de noches cálidas y disminuyó el de noches frías.

El índice de noches tropicales presentó tendencia positiva ($p < 0,01$) con un incremento de la pendiente partir del año 2000 (Fig. 5). El indicador de temperaturas máximas superiores a 25°C o días de verano, acusó una tendencia hacia la baja hasta comienzos de 1990, a partir de allí presentó un cambio en su sentido (Fig. 6). La duración de períodos calientes mostró tendencia anual positiva ($p < 0,05$) acorde con resultados hallados por Rusticucci *et al.*, (2014). Este índice aumentó su fre-

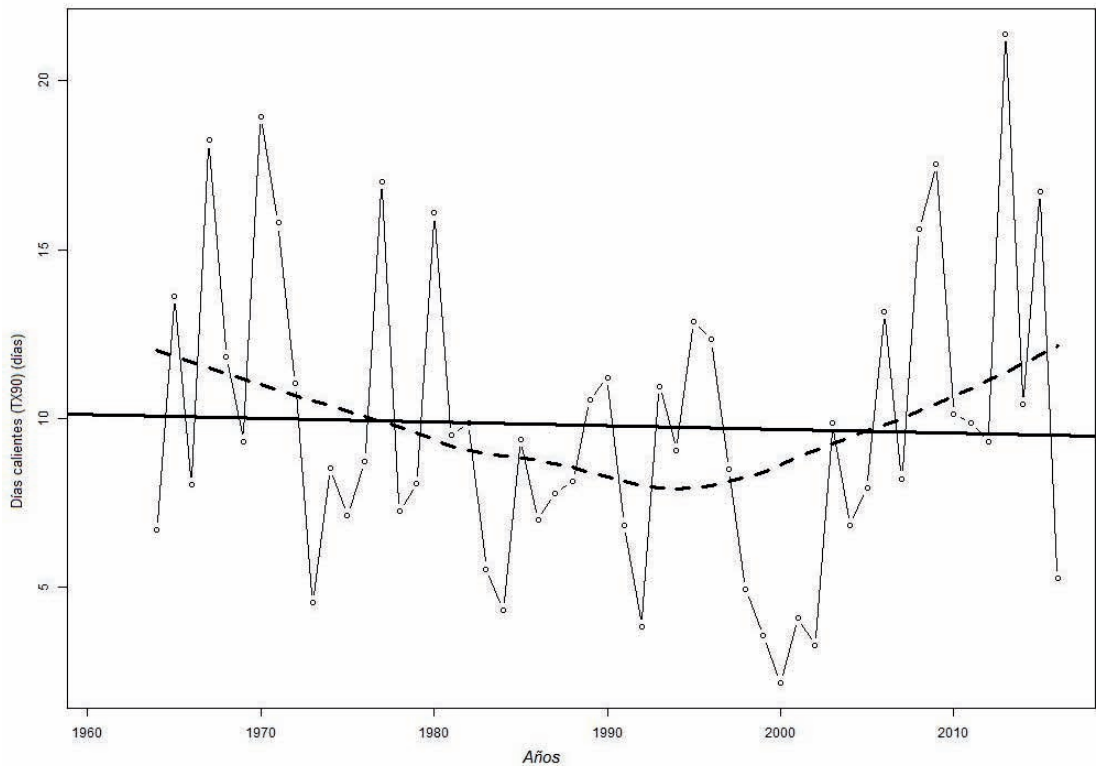


Figura 1. Variación y tendencia del índice TX90 (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

Tabla 2. Tendencia anual y estacional de los índices extremos de temperatura

	Anual	Verano DEF	Otoño MAM	Invierno JJA	Primavera SON
TX10 (Días fríos)	-	+	=	-	-
TX90 (Días cálidos)	-	-	-	+	-
TN10 (Noches frías)	-	-	-	-	-
TN90 (Noches cálidas)	+	+	+	=	+

cuencia de ocurrencia y duración a partir de 1995 (Fig. 7).

La diferencia media mensual entre la temperatura máxima y la mínima (DTR) presentó tendencia lineal negativa ($p < 0,01$) para la serie anual. La serie presenta un corte, con tendencia negativa hasta 2001 donde alcanza su valor más bajo para luego mostrar una tendencia al aumento (Fig. 8). Este resultado se relaciona con la tendencia al aumento de la temperatura mínima más alta (TNx) ($p < 0,05$) (Fig. 9). En diversos estudios globales se explica un aumento de la temperatura mínima, que reduce la amplitud térmica (Vincent *et al.*, 2005, Alexan-

der *et al.*, 2006, Caesar, 2006). Sin embargo, Vose *et al.* (2005) en términos anuales concluyeron en aumentos en la amplitud térmica para el período 1979-2004 en el sur de Sudamérica. En el análisis estacional, la tendencia fue negativa en los meses de verano, sin embargo durante los meses de invierno presentó tendencia positiva. La amplitud térmica del verano ha disminuido debido a la tendencia negativa de la temperatura máxima media. En invierno el aumento en la amplitud térmica fue debido a un aumento en la temperatura máxima media, asociada a una disminución de días fríos (Tabla 2)

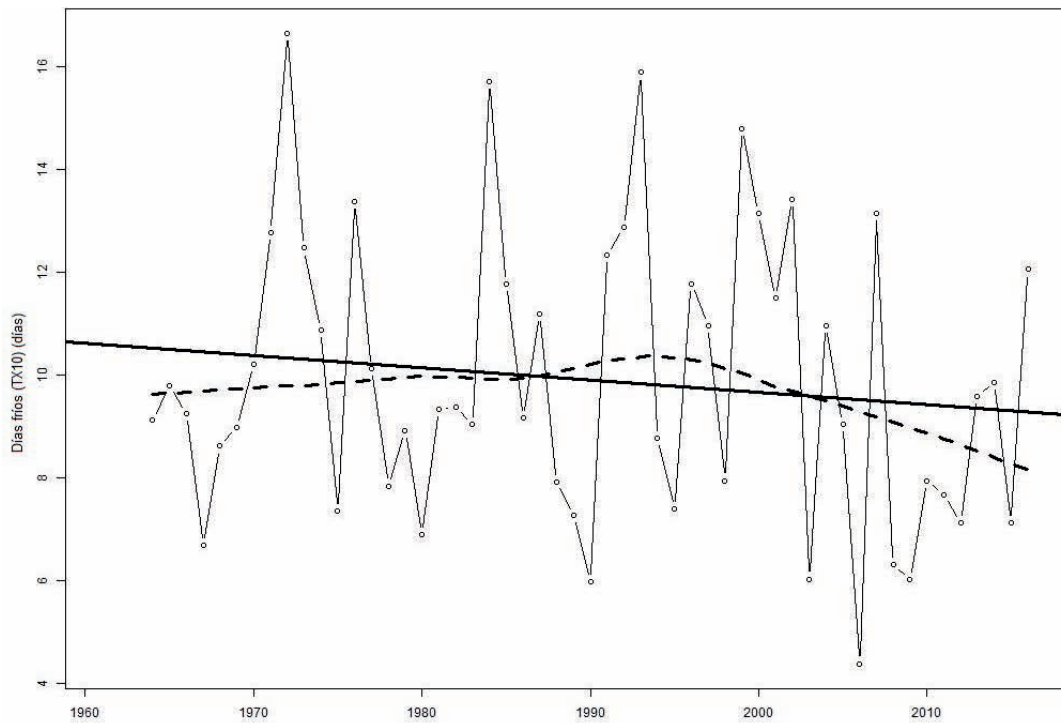


Figura 2. Variación y tendencia del índice TX10 (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

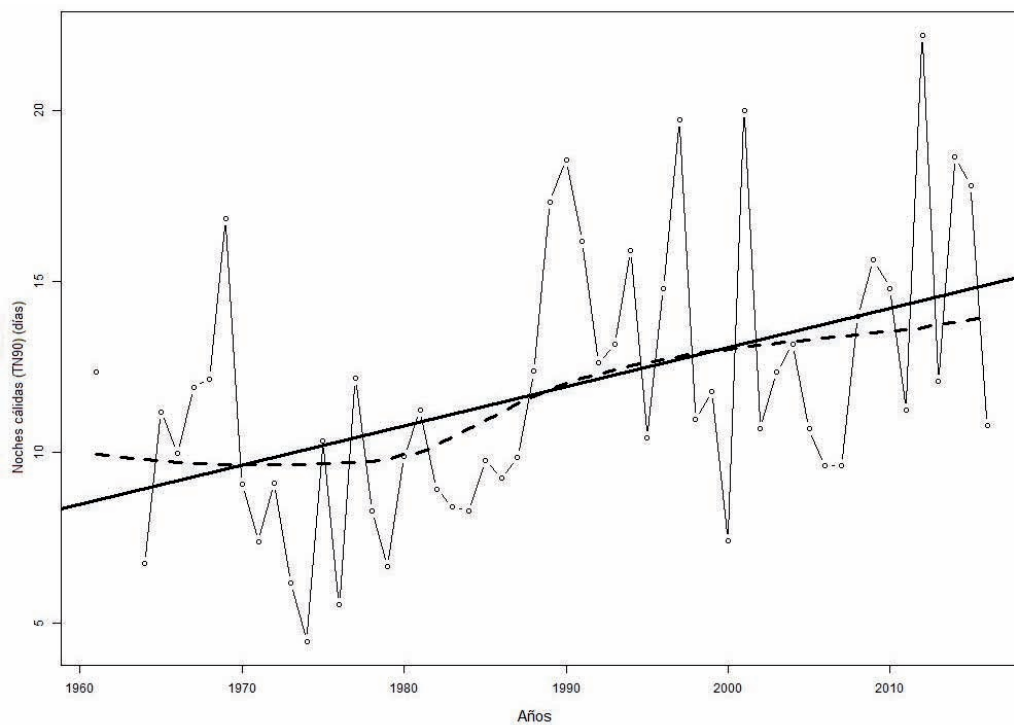


Figura 3. Variación y tendencia del índice TN90 (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

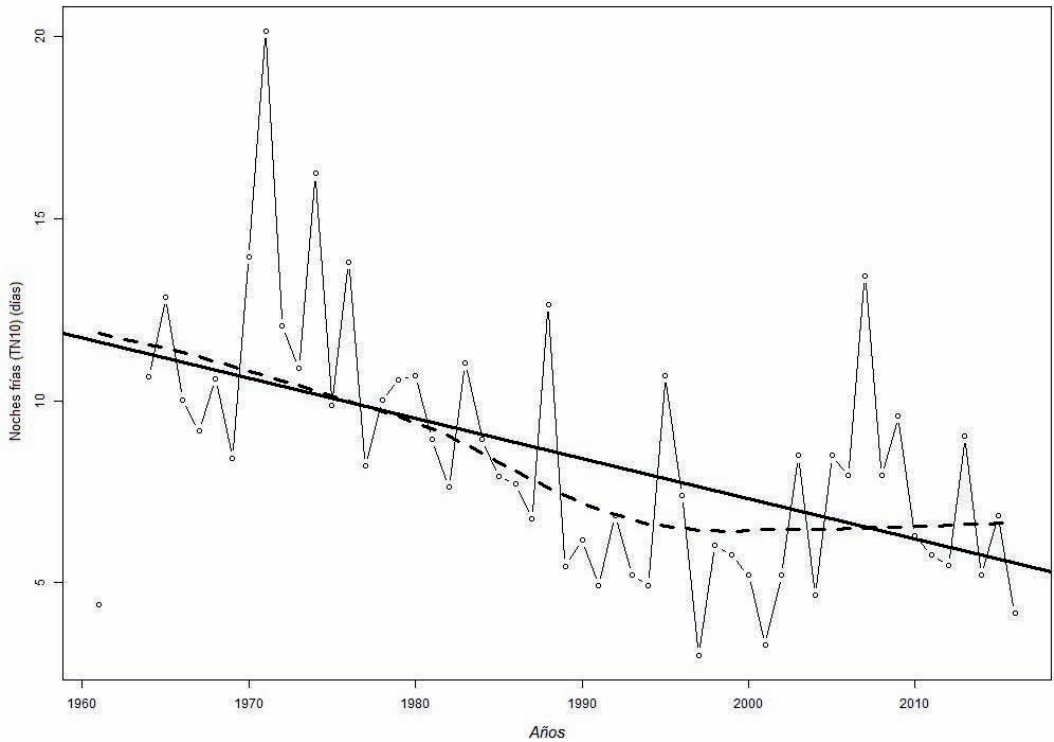


Figura 4. Variación y tendencia del índice TN10 (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

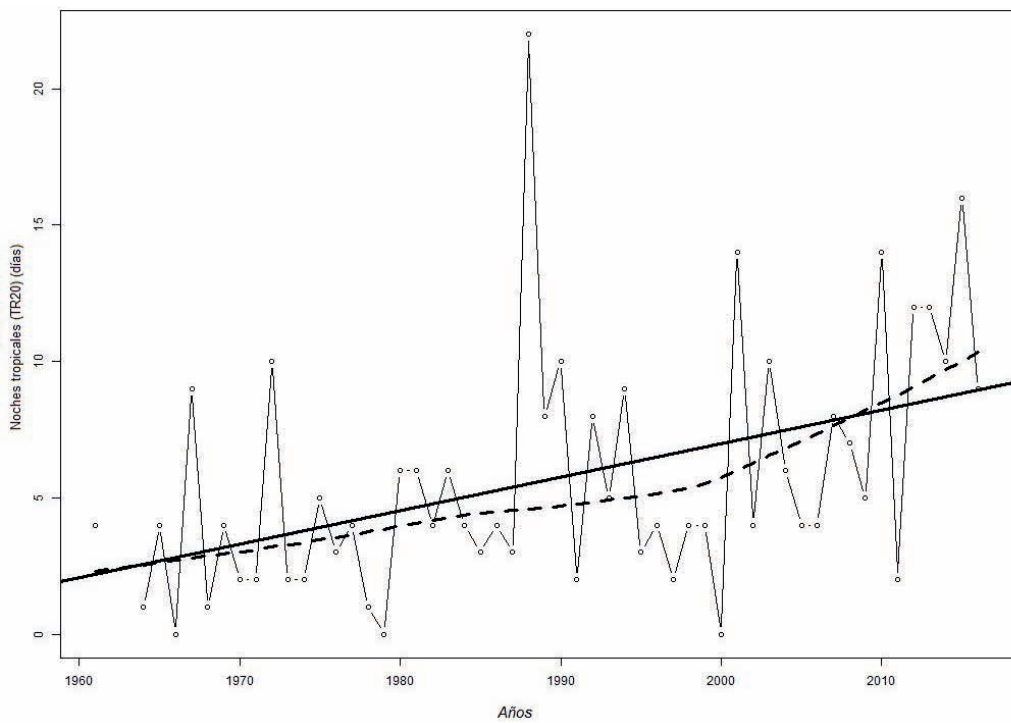


Figura 5. Variación y tendencia del índice TR20 (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

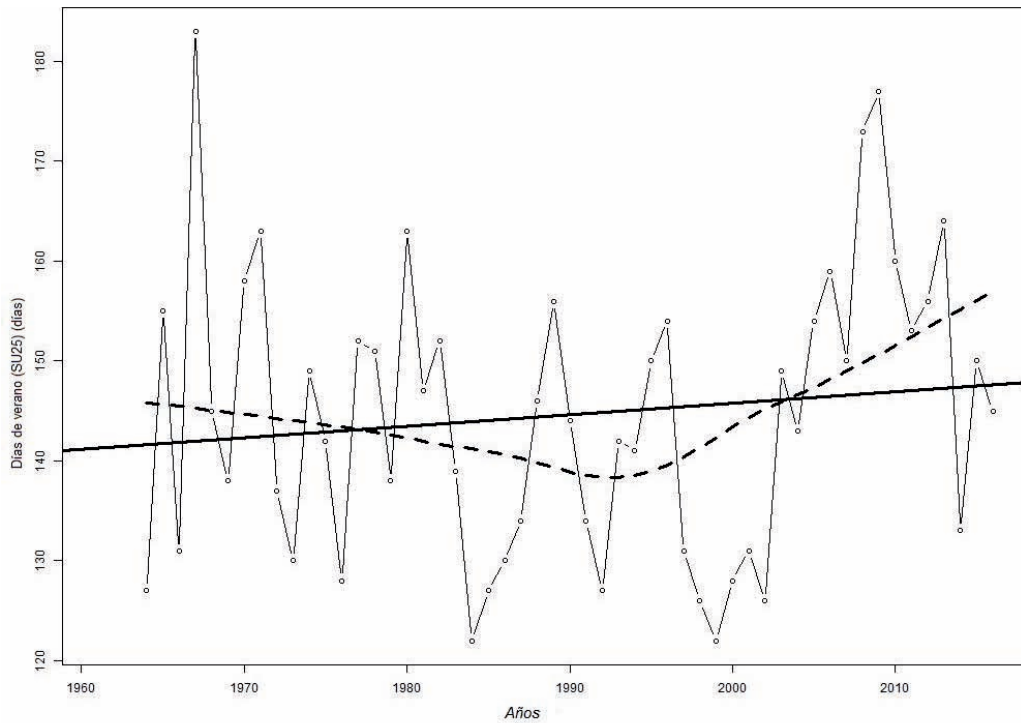


Figura 6. Variación y tendencia del índice SU25 (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

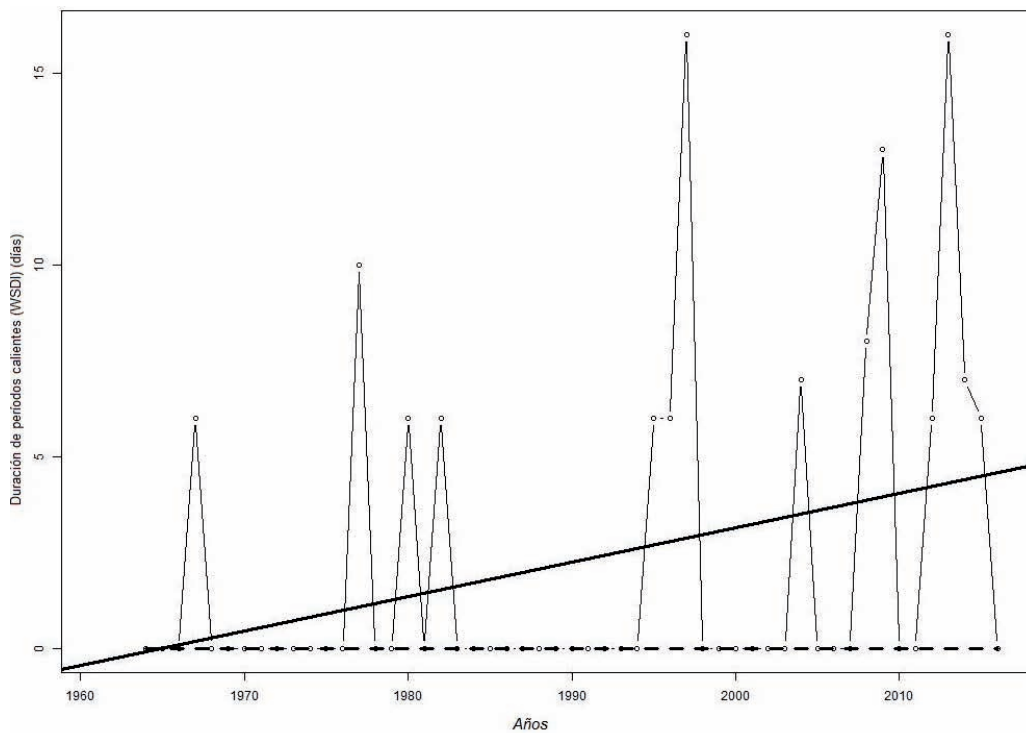


Figura 7. Variación y tendencia del índice WSDI (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

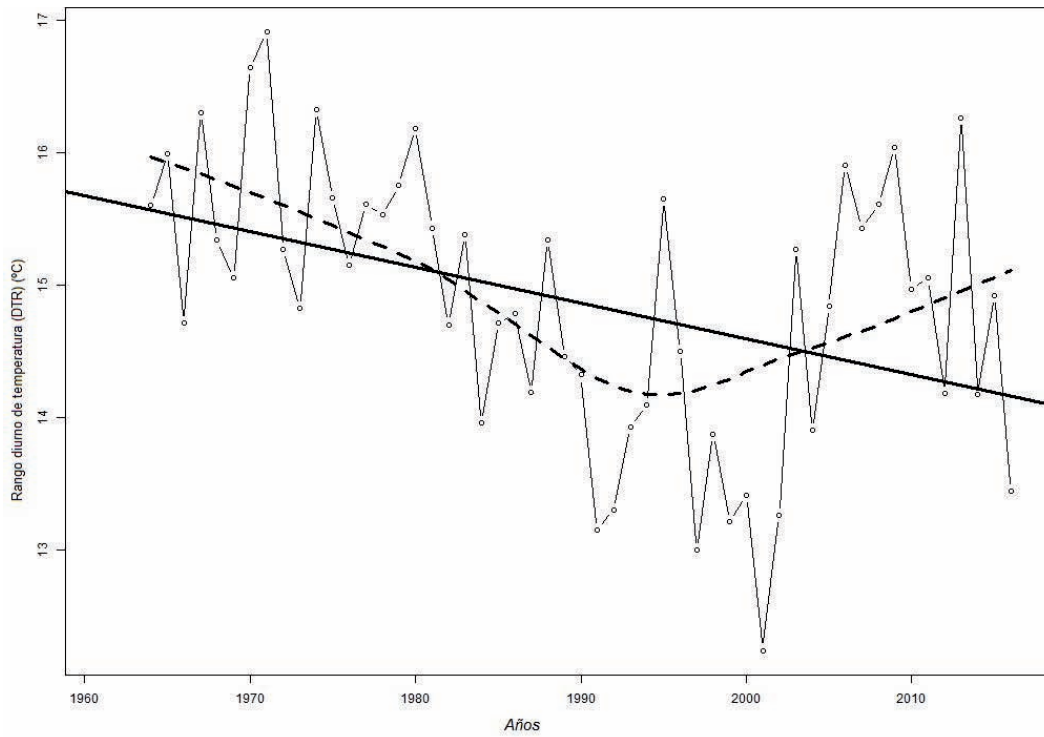


Figura 8. Variación y tendencia del índice DTR (°C) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

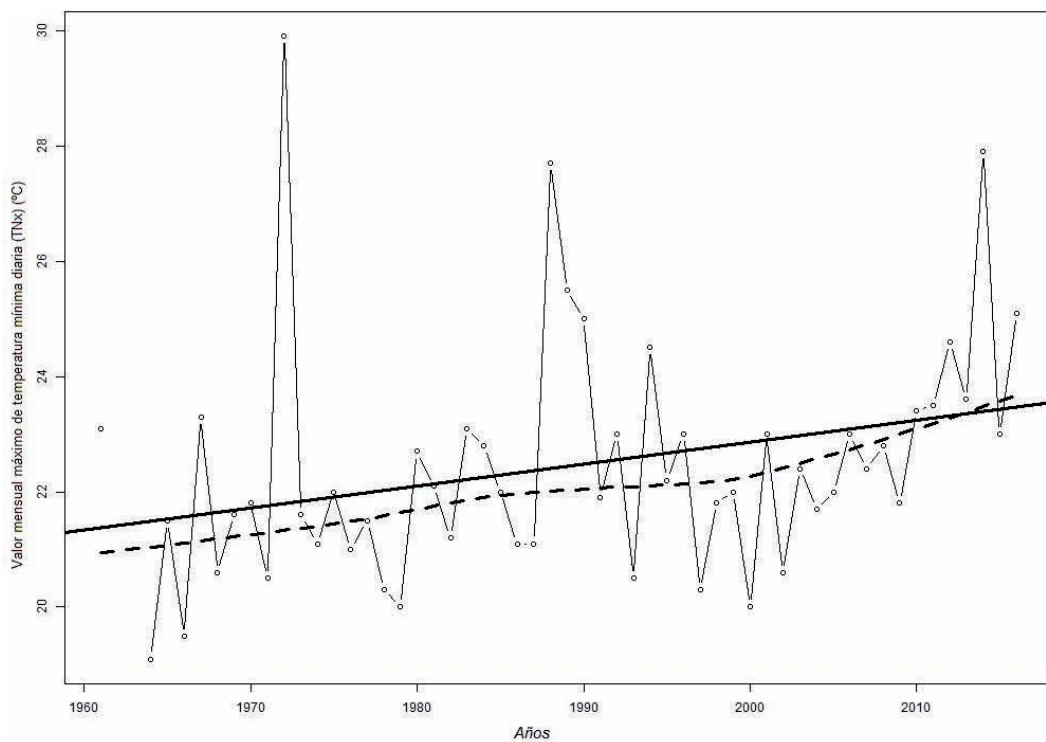


Figura 9. Variación y tendencia del índice TNX (°C) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

El índice día con heladas (FD0) presentó tendencia lineal negativa ($p < 0,01$) para toda la serie de tiempo analizada. La variación por década resultó en $-3,17\%$. Esta tendencia se agudiza más en la década del '90 (Fig. 10). Los años 2007, 1983 y 1988 se presentan como años con mayor ocurrencia de heladas, con 83, 75 y 73 respectivamente. En estos años, eventos fríos del ENSO (La Niña) tenían lugar en el Pacífico tropical, destacándose la persistencia y también la intensidad del evento en 1988 y 2007. Los resultados son acordes con varios trabajos llevados a cabo en la región Centro del país que afirman que hubo una disminución progresiva de la cantidad de días con heladas (Barrucand y Rusticucci, 2001; Vargas *et al.*, 2006). Asimismo el período con heladas disminuyó en los últimos años en casi toda la región pampeana (Fernández Long *et al.*, 2005) y en la localidad de Anguil (Belmonte y Olguin Paez, 2015).

Índices de precipitación

El indicador de días secos consecutivos (CDD) mostró una tendencia lineal a la disminución en toda la serie analizada ($p < 0,05$). El valor máximo ocurrió en 1962, y el mínimo se produjo en 1991

(Fig. 11). Esta tendencia podría ser relacionada con una fase húmeda iniciada a partir de la década del '70 y que alcanzó su máximo en la década de 1990, dentro de un ciclo climático de larga duración estudiado en la región (Perez *et al.*, 2003).

La tendencia de días con lluvia mayor a 10 mm resultó positiva ($p < 0,05$) acorde también con la tendencia en aumento del indicador de intensidad de precipitación (RX1day), aunque en este último caso la tendencia es más atenuada y no significativa estadísticamente (Fig. 12 y 13). Asimismo la precipitación total anual obtuvo tendencia positiva a lo largo de la serie ($p = 0,077$), con una variación decádica de $+28,9\%$ aunque con importante variabilidad interanual. La pendiente de la recta de tendencia es más pronunciada hasta los inicios de la década de los '90 (Fig. 14). Resultados coherentes con Castañeda y Barros 1994; Barros *et al.*, 2000; Barros *et al.*, 2008; Doyle *et al.*, 2012 cuyos trabajos concluyeron en un aumento de la cantidad de precipitaciones en la mayor parte de la Argentina en las últimas décadas, y con Vergara *et al.*, 2005 que encontraron una tendencia positiva de las precipitaciones en el este de la provincia de La Pampa entre las décadas del '70 y '90.

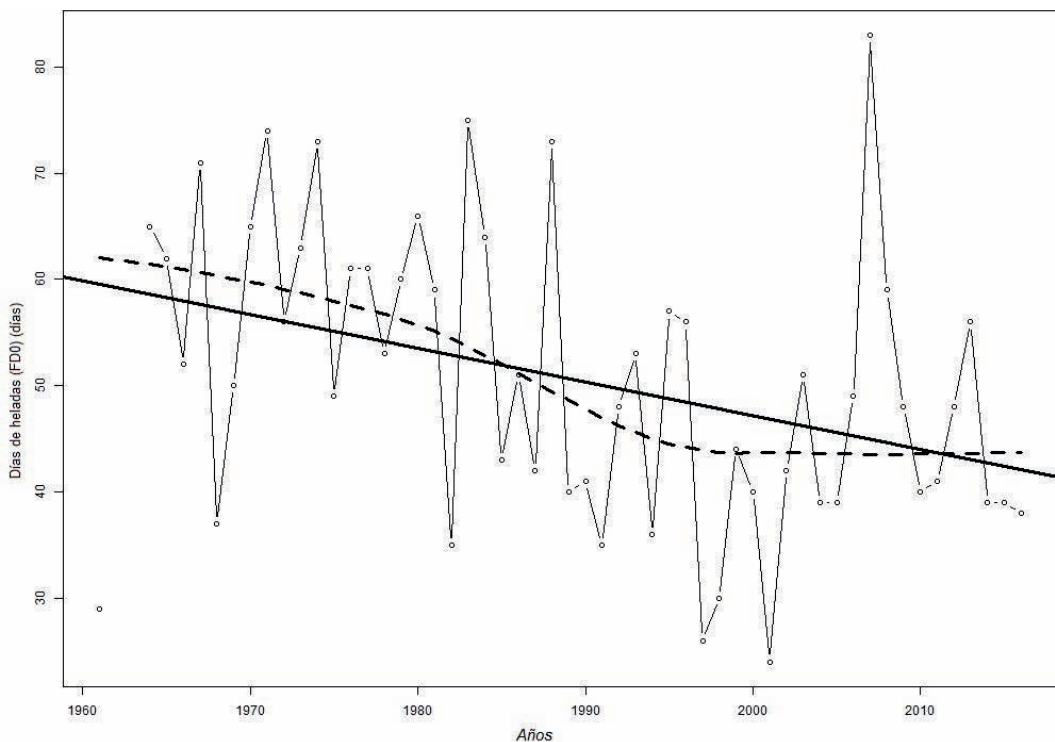


Figura 10. Variación y tendencia del índice FD0 (días) durante el período 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

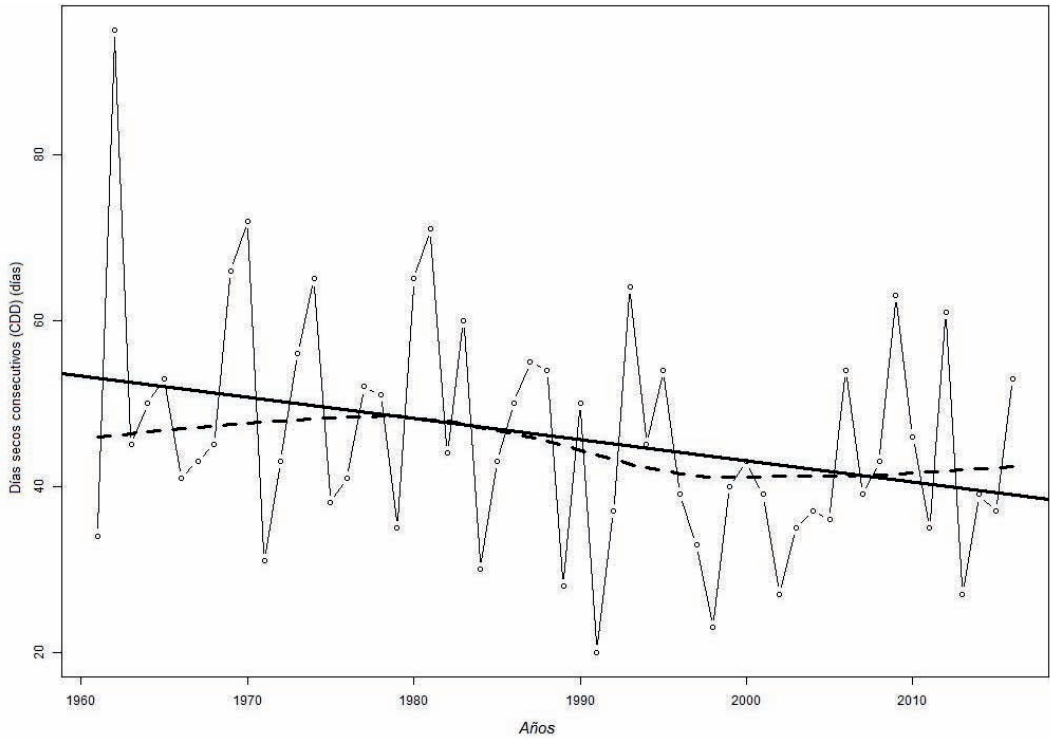


Figura 11. Variación y tendencia del índice CDD (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

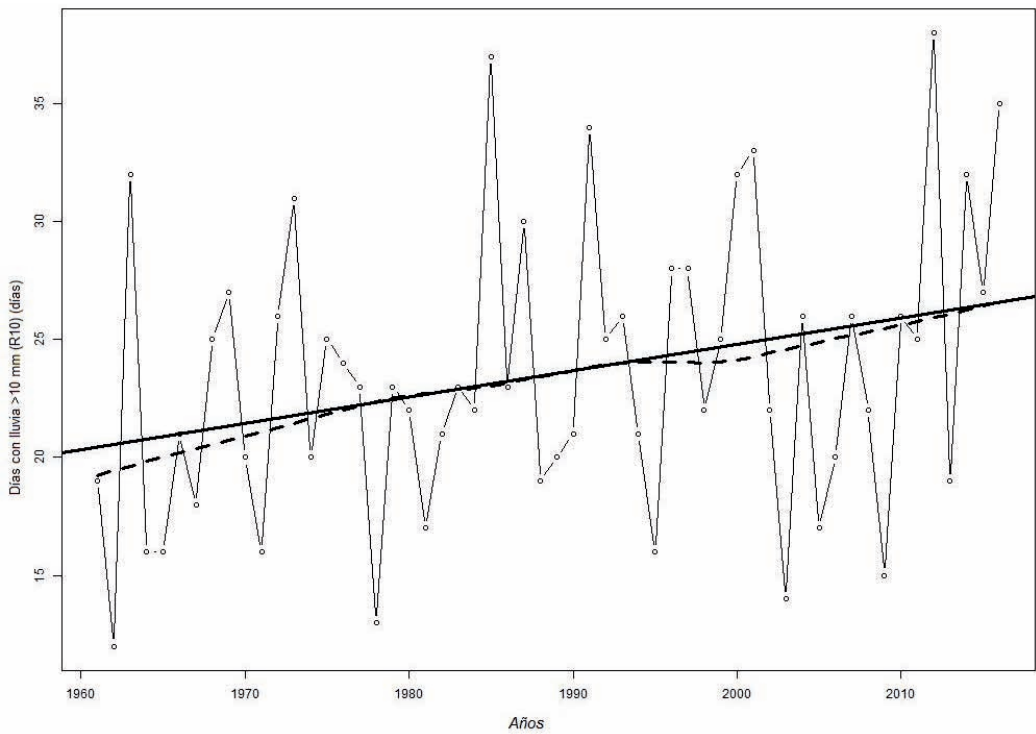


Figura 12. Variación y tendencia del índice R10 (días) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

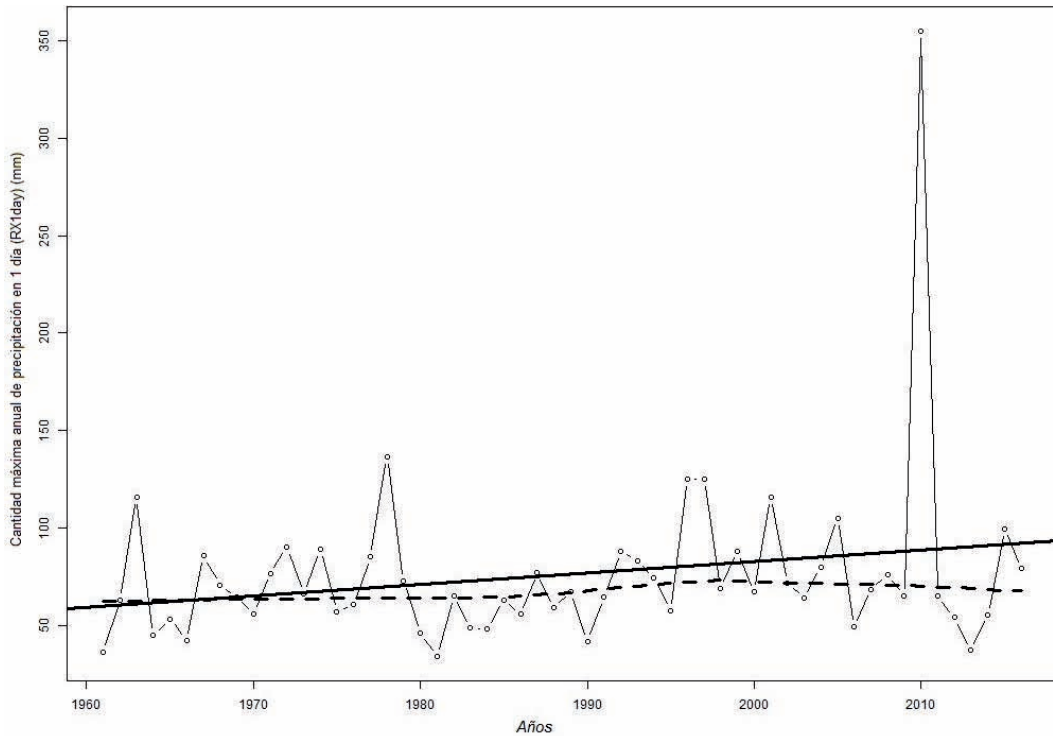


Figura 13. Variación y tendencia del índice RX1day (mm) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

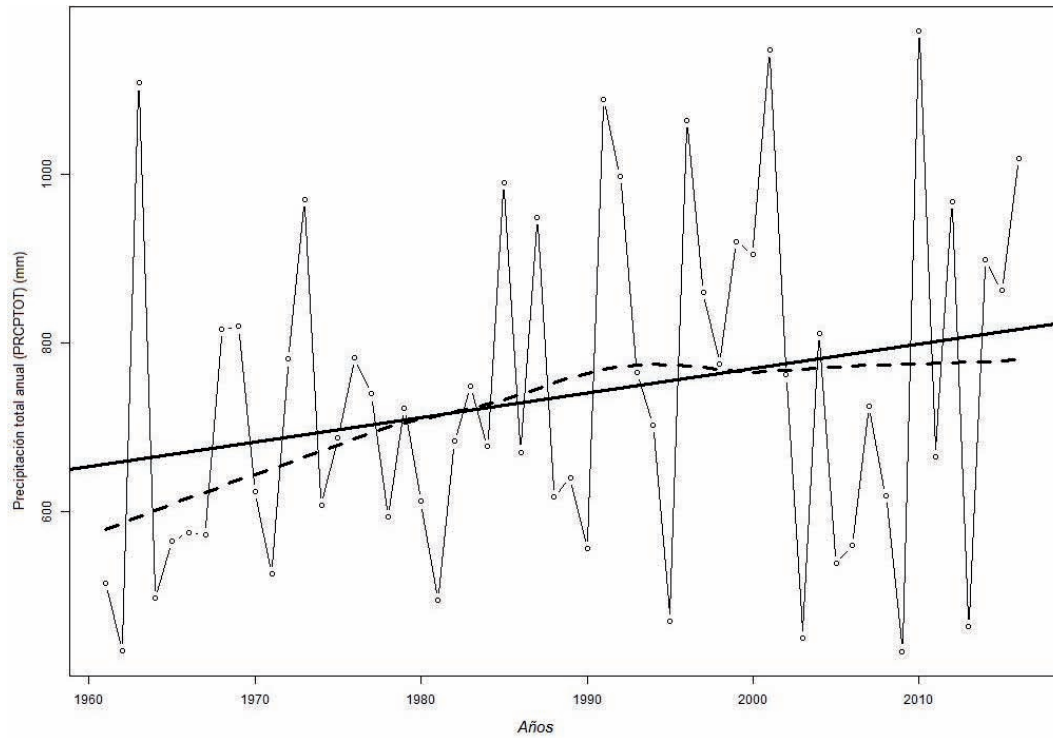


Figura 14. Variación y tendencia del índice PRCPTOT (mm) durante el periodo 1961-2016. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

CONCLUSIONES

En este trabajo se calcularon y analizaron índices climáticos asociados a las temperaturas máximas y mínimas, a la precipitación y a eventos climáticos extremos en la localidad de Anguil entre 1961 y 2016 y con el objetivo de aportar más información de CC en la región central argentina. Las tendencias anuales relacionadas a eventos extremos mostraron aumentos significativos de noches cálidas y tropicales, y disminución significativa de noches frías y de días con heladas, como así también de la amplitud térmica, todos estos factores asociados al comportamiento de la temperatura mínima. En relación a los índices relacionados con la temperatura máxima las tendencias no fueron significativas. La tendencia al aumento de la cantidad de precipitación anual fue significativa aunque con importante variabilidad interanual. También se ha incrementado la frecuencia de eventos extremos de precipitación, relacionados a aumentos en la intensidad de precipitación y a las cantidades de lluvia diaria. Los resultados hallados son coherentes con numerosos trabajos relacionados al estudio del cambio climático en las últimas décadas en múltiples estaciones ubicadas en Sudamérica y en el centro de Argentina. Características que han sido atribuidas al CC como el incremento de la temperatura, cambios en los comportamientos de las precipitaciones e incremento de eventos extremos, han sido encontradas en este trabajo. Se pone en evidencia una marcada variación interanual de la precipitación, si bien estos cambios pueden atribuirse en mayor medida a la variabilidad climática y condiciones atmosféricas extremas, no debería descartarse la posible influencia del CC sobre este fenómeno. Sin embargo no se deberá perder continuidad en el análisis de la serie de datos de temperatura y precipitación en series temporales más largas para mejorar las conclusiones de CC en la localidad. En la región de estudio se realizan trigo y otros cereales invernales que requieren de temperaturas frescas para expresar su potencial de rinde. El principal efecto de la tendencia al aumento de la temperatura nocturna se manifiesta en la depresión del rendimiento de granos. El periodo crítico de definición de rindes de estos cereales en la región de estudio ocurre durante los meses en los cuales la tendencia al incremento encontrada en este trabajo resultó muy significativa (octubre y noviembre). Asimismo los días cálidos mostraron tendencia positiva durante el invierno, condición que acorta el ciclo de estos cultivos y se traduce en una reducción de los potenciales rindes. Sin embargo algunos cultivos estivales como la soja se favorecerán en la región con el aumento de la

temperatura nocturna del verano debido a su efecto de extensión del periodo de crecimiento. Con la tendencia al aumento de periodos calientes durante los meses de verano, cultivos de cosecha de la región como girasol y maíz acortarán sus fases de crecimiento y desarrollo, lo cual repercute negativamente en su potencial rendimiento de granos. Trabajos posteriores deberán evaluar cómo estos cambios inciden de manera positiva o negativa en el ciclo de los cultivos de la región, posiblemente las tendencias y las variaciones temporales de los indicadores climáticos evaluados exigirán medidas de adaptación y ajustes de manejo para mantener o maximizar los niveles de rindes.

BIBLIOGRAFÍA

- Agosta, E. y M. Barrucand, 2012. Condiciones medias de invierno y ondas cuasiestacionarias de Rossby asociadas a la frecuencia invernal de noches frías y cálidas en Argentina subtropical. *Geoscientia*, 37(2): 147-146.
- Alexander L.; Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Haylock M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, B., Burn, J., Aguilar E, Brunet, M, Taylor, M., New, M., Zhai, P, Rusticucci, M., y J. Vazquez-Aguirre, 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111(D5109).
- Barros, V.; M. Castañeda, y M. Doyle, 2000. Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: An indication of climatic variability. *Southern Hemisphere Paleo and Neo-Climates*, P. P. Smolka and W. Volkheimer, Eds., Springer-Verlag, pp.187-206.
- Barros, V.; Doyle, M. y I. Camilloni, 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theor. Appl. Climatol*, 93, 19-33.
- Barrucand, M. y M. Rusticucci, 2001. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. *Variabilidad temporal y regional. Meteorológica*, 26: 85-101.
- Barrucand, M., 2008. Extremos de temperaturas en Argentina: cambios observados en la variabilidad espacio-temporal y su relación con otras características del sistema climático. Tesis doctoral. Biblioteca Digital FCEN-UBA. Buenos Aires, 162 pp.
- Belmonte, M. y Olguin Paez, R., 2015 Caracterización agroclimática de las heladas en Anguil (La Pampa). Periodo 1973-2014. Publicación técnica N° 100. INTA Ediciones. ISSN impreso 0325-2132. Anguil La Pampa. 16pp.
- Belmonte, M.; G. Casagrande, M. Deanna, R. Olguin, A.

- Farrell y F. Babinec, 2017. Estadísticas agroclimáticas de la EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". Período 1973-2016. Publicación técnica N° 104. INTA Ediciones. ISSN impreso 0325-2132. Anguil La Pampa. 58pp.
- Caesar, J.; L. Alexander y R. Vose, 2006. Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set. *J. Geophys. Res.*, 111, D05101, doi: 10.1029/2005JD006280.
- Castañeda, E. y V. Barros, 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono sur de América al este de los Andes. *Meteorológica* 19: 23-32.
- Doyle, M.; R. Saurral y V. Barros, 2012. Trends in the distributions of aggregated monthly precipitation over the La Plata Basin. *Int. J. Climatol.*, 32: 2149-2162.
- Fernández Long M.; I. Barnatán y L. Spescha, R. Hurtado y G. Murphy, 2005. Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. *Rev. Facultad de Agronomía*, 25(3): 247-257.
- Fernández Long, M.; G. Müller, Beltrán-Przekurat A. y O. Scarpati, 2012. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *Int. J. Climatol.*, 33, 1673-1686.
- Field, C., 2014. IPCC, Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad-Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial. Naumann, G.; M. Llano y W. Vargas, 2012. Climatology of the annual maximum daily precipitation in the La Plata Basin. *Int. J. Climatol.* 32:247-260
- Penalba, O. y F. Robledo, 2010. Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. *Climatic Change* 98:531- 550.
- Perez, S.; E. Sierra, G. Casagrande, G. Vergara y F. Ber-
nal, 2003. Comportamiento de las precipitaciones (1918-2000) en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agronomía. UNLPam.* 14 (2):39-46.
- Re, M. y V. Barros, 2009. Extreme rainfalls in SE South America. *Climatic Change*, 96: 119-136.
- Rusticucci, M.; J. Kyselý, G. Almeida y O. Lhotka, 2014. Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. In WCRP Conference for Latin America and the Caribbean, Montevideo 2014
- Vargas, W.; Naumann, G. y J. Minetti, 2006. Las Tendencias de la temperatura máxima y mínima en Series de Referencia del Sudeste de Sudamérica. Aspectos metodológicos. *Revista de Geografía.* 8 (10):67-74.
- Vergara, G.; G. Casagrande, E. Sierra, S. Pérez, y R. Brevedan, 2005. Comportamiento de las precipitaciones [1921-2000] en el este de la provincia de La Pampa [Argentina]. *Rev. Fac. Agronomía. UNLPam* 16 (12):3-13.
- Vincent, L.; T. Peterson, V. Barros, M. Marino, M. Rusticucci, M. Carrasco, E. Ramírez, Alves, T. Ambrizzi, M. Berlato, A. Grimm, J. Marengo, D. Molion, L. Moncunill, L. E. Rebello, Y. Anunciação, J. Quintana, J.L. Santos, J. Baez, G. Coronel, J. Garcia, I. Trebejo, M. Bidegain, M. Haylock y D. Karoly, 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate.* 18 (23): 5011-5023.
- Russián, G.; Agosta, E. y R. Compagnucci, 2010. Variabilidad interanual a interdecádica de la precipitación en Patagonia Norte. *Geoacta*, 35: 27-43.
- Vose, R. S., Easterling, D. y B. Gleason, 2005. Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophysical Research Letters*, 32(23):1-5.
- Zhang, X. y F. Feng, 2004. RCLIMdex (1.0). Manual de usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, J.L.: CIIFEN. 22 pp.

Condiciones termo-hídricas y comportamiento de especies nativas en el Valle de Paravachasca, Córdoba, Argentina

Planchuelo, A. M. y A. C. Ravelo

RESUMEN

En las últimas décadas numerosas áreas naturales de las sierras de Córdoba han sido degradadas por la deforestación, los incendios forestales, la introducción de plantas exóticas, el sobre-pastoreo y el avance de la frontera agropecuaria. Consecuentemente, se han producido cambios en la fisonomía del paisaje y se han creado barreras de dispersión para muchas especies de interés etnobotánico que conducen a la pérdida de la biodiversidad. Ciertas condiciones meteorológicas extremas como las sequías y los excesos hídricos aceleran los procesos de degradación del medio ambiente porque alteran el comportamiento y la regeneración de la vegetación nativa luego de períodos desfavorables. Se han analizado las condiciones termo-hídricas desde mediados de 2008 a mediados de 2016 en relación a la presencia, desaparición y regeneración de 12 especies nativas. Se destacan los períodos de sequías y los efectos de un voraz incendio en el Valle de Paravachasca que trajo aparejado la destrucción total o parcial de las plantas que habían sido seleccionadas para analizar el comportamiento de las especies. El estudio mostró que las especies con mayor resiliencia para volver a recuperar su nicho ecológico luego de un disturbio ambiental son: espinillo (*Vachellia caven*) y lagaña de perro (*Cesalpineia gilliesii*); en menor grado de resiliencia están: flor de papel (*Gomphrena pulchella* ssp. *rosea*); chuscho (*Nierembergia linariaefolia* var. *linariaefolia*) y botón de oro (*Gaillardia megapotamica* var. *radiata*), mientras que con un grado más lento de recuperación están: verbena común (*Verbena rigida*) y escoba dura (*Vernonia incana*). Por otro lado, las especies más susceptibles y con mayor pérdida de individuos en sus poblaciones naturales, fueron: peperina (*Minthostachys verticillata*), carquejas (*Baccharis articulata* y *B. crispa*) y malvas (*Sphaeralcea bonariensis* y *S. cordobensis*).

Palabras clave: biodiversidad, variabilidad climática, condiciones ambientales, sierras de Córdoba, plantas nativas

Planchuelo, A. M. y A. C. Ravelo, 2017. Thermo-hydric conditions and native species responses in the Paravachasca Valley, Córdoba, Argentina. RADA VIII: 43-57

SUMMARY

In recent times many undisturbed areas in the hills of Córdoba have been degraded by deforestation, rural fires, exotic plants introduction, overgrazing

and advances of the agriculture frontier. Consequently, many changes have occurred on the landscape status creating dispersion barriers for many species with ethno-botanical importance and causing losses in the biodiversity. Extreme meteorological conditions such as droughts and excesses of moisture accelerate the degradation process of the environment because they alter the behavior and regeneration of the native vegetation after unfavorable periods. The thermo-hydric conditions for mid 2008 to mid 2016 were analyzed in relation to the disappearance and regeneration of 12 native species. Drought periods and a rural fire in the Paravachasca valley are highlighted which caused the total or partial destruction of those plants selected for monitoring the species behavior. The study shows that the species with greater resilience to recuperate the ecological niche after a disturbed environmental condition were: espinillo (*Vachellia caven*) and lagaña de perro (*Cesalpineia gilliesii*) and with lower resilience flor de papel (*Gomphrena pulchella* ssp. *rosea*); chuscho (*Nierembergia linariaefolia* var. *linariaefolia*) and botón de oro (*Gaillardia megapota mica* var. *radiata*). Those with a lower recuperation rate are: verbena común (*Verbena rigida*) and escoba dura (*Vernonia incana*). On the other hand, those species subject to greater damages and greater population losses were peperina (*Minthostachys verticillata*), carquejas (*Baccharis articulata* and *B. crispa*) and malvas (*Sphaeralcea bonariensis* and *S. cordobensis*).

Key words: biodiversity, climate variability, environmental conditions, Córdoba hills, native plants.

A. M. Planchuelo y A. C. Ravelo: CREAN-IMBIV/CONICET, Ing. Agr. Félix A. Marrone 746, Ciudad Universitaria, Córdoba Argentina. Correspondencia: aplanch@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La provincia de Córdoba tiene una ubicación geográfica continental y una orografía de llanuras y sierras que determinan una gran variedad de ambientes geomorfológicos, climáticos y bióticos, que se ven representados en su flora y fauna. Los componentes del paisaje de las sierras centrales están representados por diversos ecosistemas de bosques xerófilos, sabanas, estepa gramínea y vegetación de alta montaña (Luti, 1979).

En las últimas décadas muchas áreas naturales han sido degradadas por los incendios rurales, la deforestación, el avance de la frontera agropecuaria, la introducción de plantas exóticas y el sobre-pastoreo (Ravelo, 2002; Ravelo, 2005; Planchuelo et al., 2009). Estos factores generan cambios en la fisonomía del paisaje, crean barreras de dispersión para muchas especies de interés etnobotánico y aceleran la pérdida de biodiversidad poniendo en peligro su persistencia (Vos & Opdam, 1993; Martínez et al., 2005). La biodiversidad permite que los ecosistemas tengan mayor resiliencia ante cambios climáticos o antrópicos,

siendo necesaria para mantener los servicios ecosistémicos. Una alteración parcial o total de uno o más componentes pueden producir un cambio transitorio o permanente en el estado del ecosistema y sus recursos. Es por esas razones que Pimm et al. (2014) aconsejan que una de las principales funciones de la plataforma política científica del Plan "Intergubernamental sobre biodiversidad y servicios de los ecosistemas" (IPBES) es realizar evaluaciones regulares y oportunas del conocimiento sobre la biodiversidad para evitar pérdidas irreparables que llevan a la desertificación.

Como parte de un proyecto multidisciplinario, esta presentación analiza las respuestas de 12 especies seleccionadas por su interés etnobotánico, a condiciones meteorológicas, ocurridas durante los últimos nueve años. Los resultados obtenidos aportan información para perfeccionar un sistema de monitoreo de sitios pilotos en las sierras y valles centrales de la provincia de Córdoba, de manera de obtener una cartografía multicapa sobre los usos de la tierra (LUS) siguiendo la metodología "World Overview of Conservation Approaches and Technologies" WOCAT, (Ravelo et al., 2009). El re-

sultado final del proyecto contribuye a delimitar las áreas naturales conservadas, las zonas explotadas con un uso sustentable, las áreas degradadas con procesos de desertificación, el estado de las cuencas proveedoras de agua a ríos y embalses, como así también, las zonas urbanas y de explotaciones agropecuarias o mineras.

El objetivo de este estudio es dar a conocer el impacto de las lluvias primaverales y las sequías sobre la regeneración de la vegetación luego del invierno, tomando como casos de estudio plantas perennes, herbáceas y sub-arbustivas de importancia etnobotánica, ya sea por tener usos en la medicina popular o tener caracteres ornamentales y formar parte del paisaje serrano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La zona de estudio se encuentra en el valle de Paravachasca sobre el faldeo oriental de las Sierras Chicas de Córdoba en el Departamento Santa María. Se eligió como zona prioritaria de evaluación el corredor turístico de la Ruta Provincial N° 5 que corre de norte a sur entre la ciudad de Alta Gracia en el extremo norte y Villa Ciudad de América en la parte sur. De esa gran zona de evaluación se eligieron zonas con vegetación conservada para luego dentro de ellas determinar las unidades de muestreo (UM). La Figura 1 muestra el área de la provincia que se relevó para seleccionar el área de estudio que pertenece al valle de Paravachasca.

Características del suelo

Las características del suelo en las sierras se forman a partir de la destrucción de las rocas aflorantes, la generación de un regolito, su posterior meteorización y finalmente la alteración química de sus componentes. Poseen horizontes superficiales ricos en materia orgánica (mólicos) y subsuperficiales enriquecidos en arcillas (argílicos), horizontes con alto contenido de sodio de intercambio (nátricos) y horizontes con abundante carbonato de calcio (cálcicos y petrocálcicos) (Manzur *et al.*, 1992).

Características climáticas

El área de estudio se caracteriza por tener un clima monzónico, que según la clasificación de Thornthwaite (1948) corresponde al tipo CB'w es decir, sub-húmedo por su valor del índice precipitación-



Figura 1.- Mapa de la región del faldeo oriental de las Sierras Chicas de Córdoba en el Departamento Santa María, señalando dentro del recuadro el valle de Paravachasca considerado como una zona prioritaria para la evaluación del comportamiento de las especies nativas.

evapotranspiración entre 32 y 63, es mesotermal con un valor del índice temperatura-evapotranspiración entre 64 y 127. Las temperaturas máximas y mínimas medias son 23,2 °C (enero) y 9,8 °C (julio), respectivamente. Por lo cual, la temperatura media anual es de 16,6 °C y la amplitud térmica media anual es de 13,4 °C. La precipitación anual oscila entre los 700 y 900 mm con las isoyetas en dirección norte-sur y con valores decrecientes hacia el oeste en la región llana del Departamento Santa María. En el área serrana, las precipitaciones presentan un aumento con la altura. La distribución de las precipitaciones tiene un rasgo monzónico, es decir, son principalmente estivales y de carácter torrencial. Sin embargo, también se registran lluvias en primavera y en otoño. La humedad relativa tiene un valor máximo al comienzo del otoño y un mínimo al comienzo de la primavera. (Ravelo, 2002). Los vientos dominantes tienen dirección sudoeste-nordeste y nordeste-sudoeste, con variaciones por la topografía serrana.

Características fitogeográficas

Desde el punto de vista fitogeográfico, el área pertenece al Distrito Chaqueño Serrano de la provincia Chaqueña (Cabrera, 1971). Las variaciones en altitud determinan la presencia de diferentes pisos de vegetación, entre ellos las áreas de Bosque

Serrano y Romerillal (Gorgas & Tassile, 2002). El desarrollo de la agricultura, los incendios forestales y el incremento de las superficies urbanas han modificando gran parte de la flora del lugar, quedando relictos de vegetación arbórea que forman parches que alternan con áreas modificadas en donde se caracterizan por la invasión arbórea de especies alógenas.

Selección de las Unidades de Muestreo

Se realizó la elección de las unidades de muestreo según un "muestro tipo preferencial" (Matteucci & Colma, 1982) y se basó en el reconocimiento previo, mediante recorridos de campo en todo el corredor turístico elegido como gran área de estudio. Se seleccionaron dos unidades de muestreo (UM) sobre la margen derecha (vía norte-sur) de la Ruta Provincial 5 entre los kilómetros 47 y 48. El estudio se realizó de acuerdo con la metodología de la escuela fitosociológica de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1979). El método consiste en seleccionar en el área de estudio, sitios representativos de un tipo de vegetación y homogéneos desde el punto de vista de los factores ambientales (suelo, topografía, etc.), fisonómicos (aspecto de la vegetación) y de la composición florística (especies de plantas que componen la vegetación). Una vez seleccionados los sitios, a partir de septiembre de 2008 se seleccionaron dos áreas de muestreo que presentaban características de vegetación conservada con presencia de algunos árboles nativos tales como algarrobos (*Prosopis* spp.), talas (*Celtis tala* Gill. ex Planch.), cocos (*Fagara coco* (Gill.) Engler), molles (*Lithrea molleoides* (Vell.) Engl.) y/o sombra de toro (*Jodinia rhombifolia* (Hook. & Arn. Reissek), entre otros, y que además tengan un estrato sub-arbustivo y herbáceo no exótico. Las unidades de muestreo fueron georeferenciadas mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), utilizando un Garmin Etrex Legend, con el cual se registraron las variables latitud, longitud y altitud. La Figura 2 muestra la ubicación de las Unidades de muestreo UM1 y UM2 en imágenes Google Earth del 2/11/2005.

Unidad de muestreo 1 (UM1): Tiene las siguientes coordenadas geográficas 31° 45' 46,18" S; 64° 28' 18,05" W y a 676 msnm. Se ubica a unos 40 metros de un alambrado perimetral lindando con la ruta 5 a la altura del km 47,5, y hacia el centro de un campo ganadero (Figura 2 A). Se caracteriza por la presencia de ganado vacuno criollo, con algunos árboles y arbustos nativos, zonas de pastoreo con especies herbáceas, zonas de tránsito y descanso de animales. El ganado consume vege-

tación natural y no hay implantación de pasturas. El área de muestreo es de aproximadamente 1,5 ha.

Unidad de muestreo 2 (UM2): Tiene las siguientes coordenadas geográficas 31° 45' 14,04" S; 64° 28' 57,52" W y a 710 msnm. Se ubica al sur de la UM1 a la altura del km 48 de la ruta 5, y a unos 1000 metros de la ruta hacia adentro de un campo de cría de ganado vacuno (Figura 2 B). Se caracteriza por la presencia de árboles nativos, un estrato arbustivo y herbáceo no exótico y zonas de suelo casi desnudo con afloraciones rocosas y pequeños senderos de tránsito de ganado vacuno. El área de muestreo es de aproximadamente 1,5 ha.

Criterios de selección y metodología de evaluación de las especies

A través de observaciones visuales se registró en cada unidad de muestreo la cobertura y las alturas de las plantas, para luego determinar los distintos estratos vegetales presentes (arbóreo, arbustivo y herbáceo). La abundancia de especies vegetales se midió para poder determinar luego la riqueza y la distribución territorial de las especies a través del conteo y observación de las especies. En los relevamientos se trabajó con una grilla donde se buscó la presencia de las especies de valor etnobotánico consideradas prioritarias para su conservación, según lo determinado por Martínez et al. (2005) y las especies nativas herbáceas y sub-arbustivas de interés ornamental, según lo determinado por Barrionuevo & Planchuelo (2008). Se eligieron en total seis especies en cada sitio de muestreo, que estaban representadas por cinco o más plantas o unidades de plantas en el área demarcada y se señaló el lugar con una estaca para continuar el seguimiento de las plantas a través de las temporadas de observación. Se introduce el término unidad de planta para aquellas especies que forman matas y que no tienen un tallo único, como en el caso de especies rizomatosas, hemicriptófitas, que tiene una planta madre y a su alrededor partes aéreas que surgen de brotes de rizomas. Se consideraron como plantas o unidades de plantas individuales, solo cuando las matas estaban separadas entre sí por tres o más metros a la redonda, las que estaban a menor distancia se las consideraba pertenecientes a un mismo complejo de individuos que tomaron el valor de una unidad de planta.

El registro de la abundancia de las especies se realizó con el conteo del número de plantas o unidades de plantas mediante una combinación de las metodologías establecidas por Planchuelo & Ravelo (2006, 2007). Durante los meses anteriores

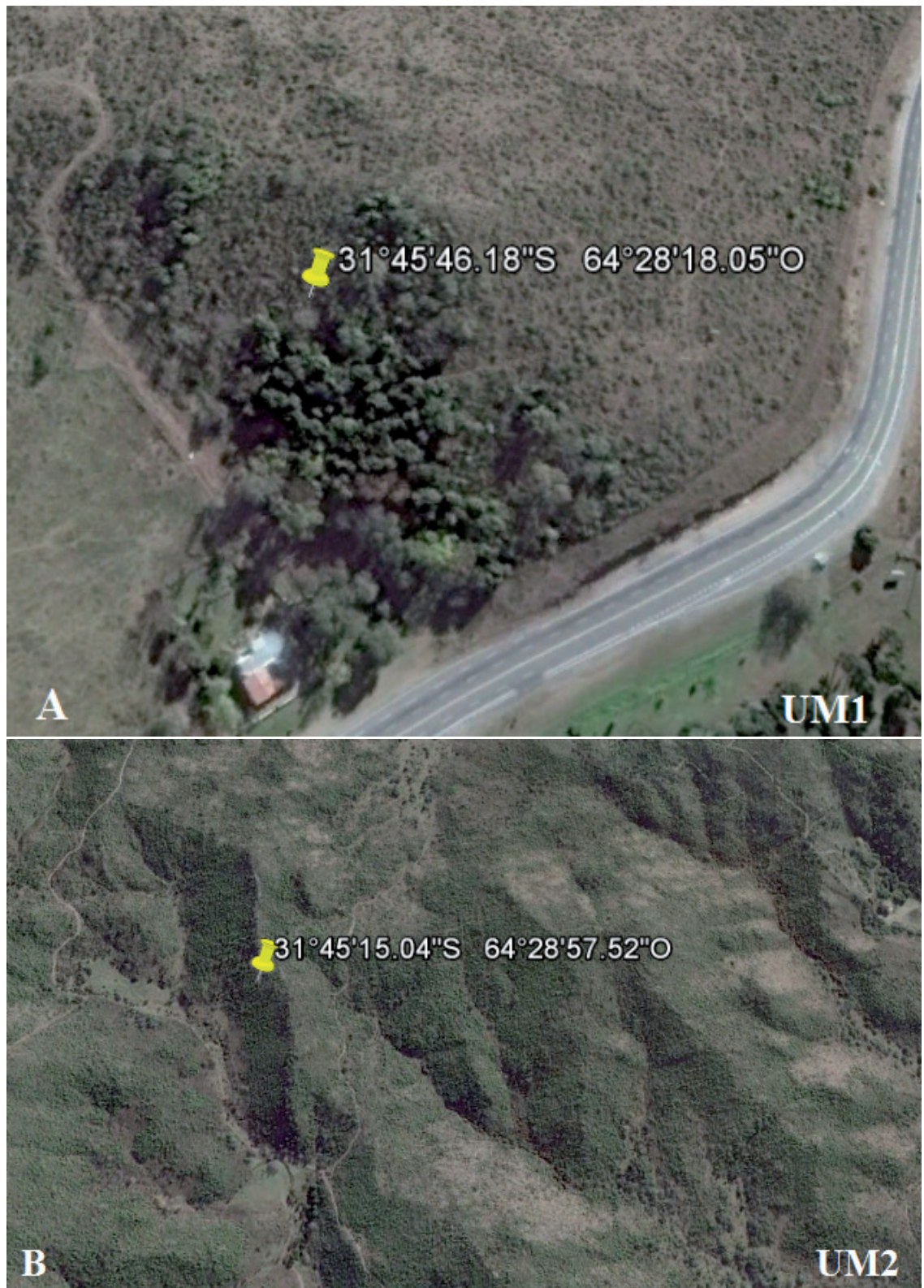


Figura 2. - Unidades de muestreo en imágenes Google Earth del 2/11/2005. **A:** unidad de muestreo UM1; **B:** unidad de muestreo UM2.

a la iniciación de las observaciones se consideró que las plantas estaban en un período de dormición debido a que los arbustos caducifolios carecían de hojas, los perennifolios carecían de brotes jóvenes y las plantas hemicriptófitas no mostraban ninguna parte aérea emergiendo de la corona radículo-caulinar. Se registraron las fechas y períodos de brotación y floración. El inicio de brotación (Br) se consideró cuando las plantas mostraban los primeros brotes nuevos en desarrollo y el período de floración (Fl) se registró desde la fecha en que las flores o inflorescencias estaban en estado de pimpollos florales hasta que las últimas flores abiertas perdían los pétalos.

Evaluación climático-ambiental

Se analizaron las condiciones hidro-meteorológicas para cada mes mediante el uso del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI por sus siglas en inglés) (Palmer, 1965). El PDSI, es un indicador de ocurrencias de extremos hídricos que se basa en el concepto de la oferta y la demanda de la ecuación del balance hídrico. Se calcula utilizando datos de evapotranspiración potencial y precipitación y clasifica las desviaciones con respecto a valores medios del balance hídrico en condiciones de excesos, de normalidad y de sequía. Se utiliza la siguiente escala adimensional de valores: > 4,0 (humedad extrema); 3,0-3,9 (muy húmedo); 2,0 a 2,9 (humedad moderada); 1,0 a 1,9 (humedad incipiente); -0,9 a 0,9 (condiciones normales); -1,0 a -1,9 (sequía incipiente); -2,0 a -2,9 (sequía moderada); -3,0 a -3,9 (sequía severa); < -4,0 (sequía extrema). Los valores del PDSI fueron graficados en una escala temporal para identificar los períodos de sequía y de excesos de humedad (CREAN, 2017). Las fechas de los episodios de incendios e inundaciones fueron constatados por observaciones personales y publicaciones (Redacción LaVoz, 2015).

Características de las especies estudiadas

Teniendo en cuenta los parámetros de selección en cada unidad de muestreo se eligieron las siguientes 12 especies que se listan en orden alfabético de los nombres científicos basados en la nomenclatura del Catalogue of Life (<http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2017/details/species/id>) y de la Flora del Cono Sur (<http://www.darwin.edu.ar/proyectos/floraargentina/fa.htm>). Para una mejor identificación de las especies se listan los nombres comunes, la familia a las que pertenecen y el área de distribución. Además,

dada la importancia etnobotánica que tienen se indican los usos y se citan las referencias bibliográficas más destacadas y actualizadas que describen las plantas y los usos medicinales, industriales, ornamentales y/o culturales.

Unidad de muestreo 1: UN1

***Baccharis articulata* (Lam.) Pers. y *B. crispa* Spreng.** -Nombre común: carqueja, carquejilla. Son subarbustos rizomatosos de 50 cm a 1,00 m de altura. Tienen la característica de ser especies dioicas que tienen plantas femeninas y masculinas con las mismas estructuras vegetativas. Dado que ambas especies son muy semejantes, difíciles de identificar en estado de brotación, se comportan en forma similar y tiene los mismos usos, se consideraron ambos taxones como una unidad de planta sin considerar la especie y el sexo de la planta evaluada. Pertenecen a la familia Asteráceas (Compuestas). La distribución de estas especies se extiende en zonas templadas de Sudamérica y son comunes en las sierras de Córdoba. Tiene usos medicinales según lo documentan Barboza et al. (2006); Núñez & Cantero (2000); Arias Toledo (2009) y Ojeda & Karlin (2015).

***Caesalpinia gilliesii* (Hook.) D. Dietr.** - Nombre común: lagaña de perro, pichana, poinciana, barba de chivo, barba de viejo. Es un arbusto o pequeño árbol de 90 cm a 2,50 m de altura, andromonoico, es decir que tiene flores estaminadas (masculinas) y perfectas o hermafroditas (con estambres y ovario fértiles) en la misma planta. Perteneció a la familia Fabáceas (Leguminosas, Cesalpinioidea). Es una especie endémica de Argentina pero es cultivada como ornamental y crece asilvestrada en zonas templadas de todo el mundo. Tiene usos ornamentales (Césere et al., 1997), medicinales (Barboza et al., 2006, Ragonese & Milano, 1984) y tintóreos (Ulivarri et al., 2002).

Nierembergia linariaefolia* Graham var. *linariaefolia - Nombre común: chucho, chuscho, matacaballo. Es una planta perenne, achaparrada, y ramosa en la base de 20 a 35 cm de altura. Perteneció a la familia Solanáceas. Es una especie endémica de Argentina que crece comúnmente en Córdoba. Es una especie de valor ornamental (Planchuelo & Barrionuevo, 2016) y también medicinal aunque se la considera tóxica (Barboza et al., 2006).

***Vachellia caven* (Molina) Seigler & Ebinger;** nombre actual válido de ***Acacia caven* (Molina) Molina** - Nombre común: aromito, espinillo, churqui, aroma, caven: Es un árbol pequeño de 1,50 a 2,50 m de altura. Perteneció a la familia Fabáceas

(Leguminosas). Su distribución se extiende por las zonas semi-áridas de Sudamérica y es muy común en la zona serrana de Córdoba. Se describieron seis categorías infraespecíficas, pero observaciones durante los años de este estudio demostraron que no tienen validez taxonómica porque la dehiscencia y los tamaños de los frutos, que son los caracteres diferenciales, varían en la misma planta. Es una especie de valor etnobotánico con múltiples usos (Burkart, 1952), medicinal (Molinelli et al., 2005, 2006, 2013; Martínez et al., 2006; Barboza et al., 2006), tintóreo (Marzocca, 1993; Verzino et al., 2016), de importancia apícola (Faye et al., 2002), ganadera (Gutiérrez & Armesto, 1981), paisajístico y ornamental (Césere et al., 1997; Demaio & Karlin, 2002) y cultural por estar inserta en el cancionero folklórico (Báez, 2016).

***Vernonia incana* Less.** - Nombre común: escoba dura. Es una planta perenne de 40 cm hasta 1,00 m de altura, con rizomas horizontales. Perteneció a la familia Asteráceas (Compuestas). Su distribución se extiende por el centro y norte de Argentina y países limítrofes. Es muy ornamental para jardines de zonas semi-áridas (Planchuelo & Barrionuevo, 2016).

Unidad de muestreo 2: UM2

***Gaillardia megapotamica* (Spreng.) Baker var. *radiata* (Griseb.) Baker** - Nombre común: botón de oro, manzanilla. Es una planta matosa de 40 a 60 cm de altura, con raíces gemíferas. Perteneció a la familia Asteráceas (Compuestas). Su distribución se extiende por el centro y sur del país. Es una especie medicinal (Barboza et al., 2006; Sérsic et al., 2006) y ornamental (Planchuelo & Barrionuevo, 2016).

***Gomphrena pulchella* Mart. ssp. *rosea* (Griseb.) Pedersen** - Nombre común: flor de papel, siempreviva, inmortal silvestre, gonfrena. Es una especie perenne que forma matas de 40 a 60 cm de altura con tallos erguidos que llevan las inflorescencias terminales. Perteneció a la familia Amaranáceas. Su distribución es restringida a la zona serrana de Córdoba y San Luis. Esta especie se la usa en la medicina popular (Barboza et al., 2006; Sérsic et al., 2006) y también es muy ornamental para jardines y artesanías (Planchuelo & Barrionuevo, 2016).

***Minthostachys verticillata* (Griseb.) Epling** - Nombre común: peperina, menta peperina. Es un arbusto pequeño de 70 cm a 1,20 m de altura, muy aromático. Perteneció a la familia Labiáceas (Labiadas). Su distribución principal es el centro y norte de Argentina. Es una planta aromática muy

usada para tisanas, bebidas aperitivas y licores (Barboza et al., 2006; Ojeda & Karlin, 2015). Esta especie es considerada como prioritaria para su conservación por Martínez et al. (2006).

***Sphaeralcea bonariensis* (Cav.) Griseb. y *S. cordobensis* Krapov.** Nombre común: malva, malva blanca, malva del zorro, malvavisco, malvavisco rosado. Son dos especies perennes muy similares entre sí, de difícil identificación y que comparten el hábitat, por esa razón se evaluaron como si fueran pertenecientes a un solo taxón. Pertenecen a la familia Malváceas. Su distribución se extiende por la zona montañosa de Córdoba, San Luis y Santiago del Estero. Está citada como planta ornamental en Planchuelo & Barrionuevo (2016).

- *Verbena rigida* Spreng. Nombre común: verbena común. Es una especie perenne rizomatosa semi rastrera de 49 a 60 cm de altura con tallos floríferos tetragonos y erectos. Perteneció a la familia Verbenáceas. Su distribución se extiende por el este de Sudamérica, noreste y norte de Argentina y Bolivia. Se la considera una especie medicinal (Barboza et al., 2006) y ornamental (Planchuelo & Barrionuevo, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación meteorológica

La Figura 3 A y B, presenta las precipitaciones mensuales registradas y los montos de las precipitaciones medias mensuales de serie de 30 años (1961-1990), junto con las temperaturas mensuales registradas y las medias mensuales de serie de 30 años (1961-1990) para los períodos 2008-2012 y 2013-2016, respectivamente.

La Figura 4 presenta los valores mensuales del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI por sus siglas en inglés) (Palmer, 1965) para la localidad de Córdoba (Aeropuerto) durante 2008 a 2016 (CREAN, 2016). El índice refleja la ocurrencia de extremos hídricos (sequías y excesos de humedad). Toda la información fue obtenida de los archivos del CREAN.

A continuación se hace un análisis comparativo de las condiciones termo-hídricas del período agosto a marzo de los años en que se registraron la brotación y floración de las plantas seleccionadas.

2008-2009: Las temperaturas de agosto a octubre estuvieron dentro de los rangos normales pero luego en noviembre y diciembre estuvieron entre 3-4 °C por encima de las medias. Las precipitaciones fueron relativamente normales, con una baja

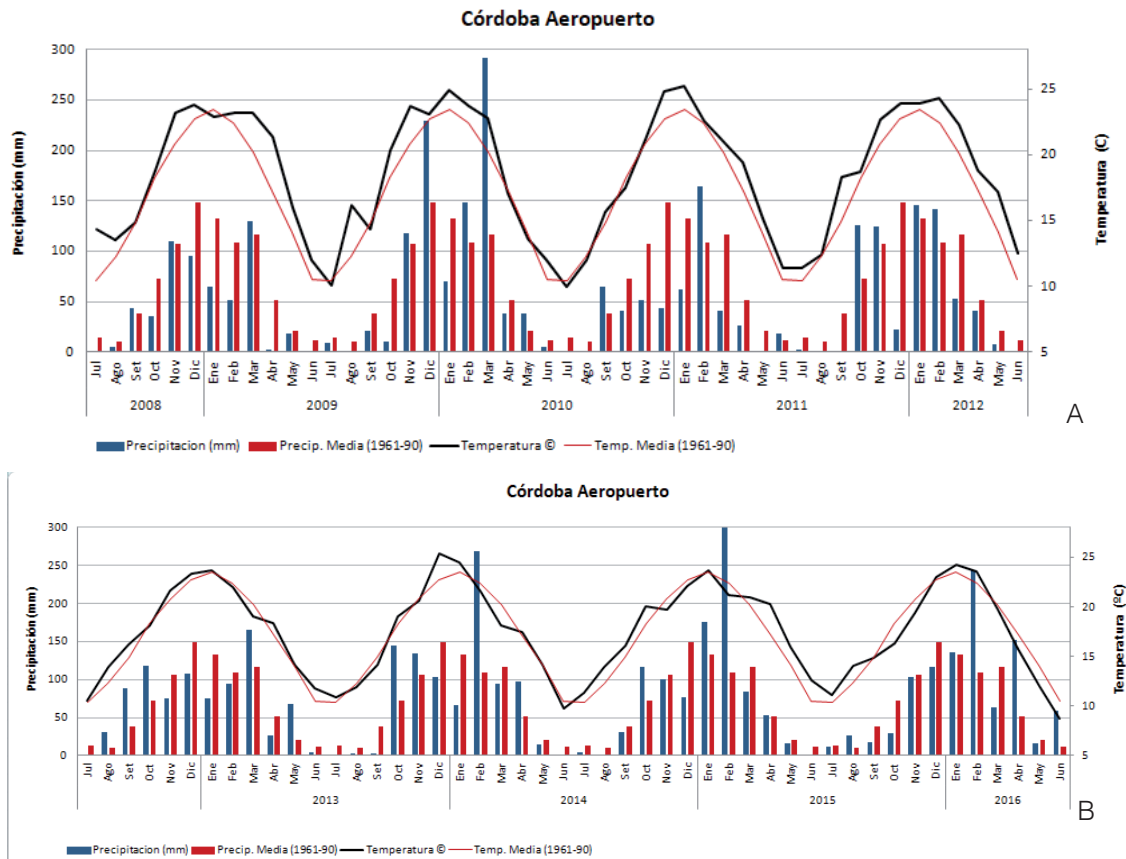


Figura 3. Precipitación mensual registrada (barras azules) y precipitación media mensual de serie de 30 años (barras rojas). Temperaturas medias mensuales registradas (línea azul) y temperaturas medias mensuales de serie de 30 años (línea roja). A: para el período 2008-2012; B: para el período 2013-2016.



Figura 4.- Valores mensuales del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) para la localidad de Córdoba (Aeropuerto) del período 2008-2016.

considerable de precipitaciones en diciembre que se continuó hasta febrero (PDSI -4,5). Al final del ciclo en marzo las precipitaciones fueron ligeramente superiores a las normales pero la ocurrencia de altas temperaturas causó que los valores de PDSI continuaran con valores de sequía severa (PDSI < -3).

2009-2010: Durante los meses de invierno y primavera (agosto a octubre) se registraron precipitaciones menores a las normales y altas temperaturas hasta octubre inclusive, con valores negativos de PDSI que marcaron una sequía severa (PDSI < -4), lo cual generó condiciones que facilitaron la ocurrencia de un incendio en las áreas de muestreo. A partir de noviembre las lluvias fueron abundantes y las temperaturas superaron los valores normales, registrándose excesos hídricos en diciembre y marzo con valores positivos de PDSI que alcanzaron valores de humedad moderada (PDSI 2).

2010-2011: Se observó un período inverno-primaveral (julio a noviembre) con temperaturas normales y a pesar de las escasas precipitaciones el balance hidrológico se mantuvo en valores positivos del PDSI con condiciones normales o húmedas (PDSI entre 0 y 2). La falta de lluvias a partir de agosto provocó un período de sequías que alcanzaron valores de sequía severa (PDSI -3) en diciembre de ese año. Estas condiciones de escasa humedad ocurrieron precisamente en el período de brotación-floración (octubre-diciembre) y se continuaron hasta enero. En febrero, si bien se registraron lluvias por encima de lo normal, y el PDSI alcanzó valores de sequía moderada (PDSI -2,5).

2011-2012: Se registraron temperaturas muy elevadas durante todo el período y las lluvias de octubre- noviembre y enero-febrero no llegaron a satisfacer los requerimientos hídricos, resultando en una sequía severa (PDSI -4) en septiembre de 2011, precisamente en el período de brotación. El período de sequías continuó a pesar de registrarse valores normales de precipitación durante enero y febrero de 2012, las lluvias no equilibraron la demanda hídrica debido a las altas temperaturas estivales y el PDSI se mantuvo con valores negativos (PDSI entre -2 y -3) indicando la ocurrencia de sequías incipientes a moderadas hasta octubre de 2013.

2012-2013: Al comienzo del período (agosto), las temperaturas fueron más elevadas respecto a las normales y continuaron hasta noviembre que llegaron a valores cercanos a las normales. Los montos de precipitaciones más elevados que los normales para octubre y noviembre marcaron un buen comienzo de la brotación pero no llegaron a

eleva los valores del índice que siguió marcando sequías incipientes (PDSI -1).

2013-2014: Este período marcó un comienzo de recuperación hídrica pero se mantuvo una sequía leve que había comenzado el año anterior; sin embargo, durante octubre las temperaturas cercanas a las normales y las abundantes lluvias elevaron el PDSI a valores positivos (PDSI 1) permitiendo la consolidación de muchas especies con nuevos individuos en el área de estudio. En diciembre y enero se registraron lluvias inferiores a las normales y se produjo un corto período de sequía incipiente (PDSI -1). Las abundantes precipitaciones de febrero revirtieron el período de sequía, llevando los valores del índice a humedad incipiente (PDSI 1) y marcaron el comienzo de un largo período humedad y excesos hídricos.

2014-2015: Las temperaturas primaverales fueron levemente superiores a las normales mientras que las de verano se mantuvieron en los rangos de las medias. Las precipitaciones de octubre marcaron un buen comienzo de brotación que mantuvo valores de PDSI positivos (PDSI entre 1 y 2) hasta diciembre. Las precipitaciones de febrero, con 417 mm superaron en casi 400% a los valores de la media para ese mes generando condiciones de humedad extrema (PDSI 4). En esa oportunidad se observaron anegamiento en las zonas bajas y huellas de erosiones en laderas por escorrentías de abundante agua que dejaron canales y zanjas.

2015-2016: Las temperaturas primaverales fluctuaron por encima y por debajo de las medias mensuales durante varios meses. Las precipitaciones a principios de primavera fueron escasas y recién a partir de octubre se mantuvieron en valores cercanos a las medias mensuales y generaron valores cercanos a la normalidad (PDSI entre -1 a 1) durante la primavera y el verano. Las excesivas precipitaciones de febrero con el 300% del valor normal produjeron condiciones muy húmedas (PDSI 3) y luego las precipitaciones abundantes de abril con más del 200% de lo normal mantuvieron la situación de humedad moderada (PDSI entre 1 y 2).

Estos dos últimos períodos estuvieron caracterizados por consecuencias desfavorables de los excesos hídricos que trajeron aparejado desbordes de arroyos, canales y ríos e inundaciones en vastas extensiones (Zanvetor et al., 2016).

Comportamiento de las especies

La Tabla 1 muestra el número de plantas creciendo en las dos unidades de muestreo (UM1 y UM2), desde el comienzo de la investigación en septiembre 2008 hasta el 15 de marzo 2016. Como

se puede observar en la Tabla 1 se partió de un número igual o mayor a cinco plantas adultas o unidades de plantas de cada una de las especies seleccionadas, que crecían en cada una de las unidades de muestreo. Cada año tiene un solo valor que corresponde al total de plantas o unidades de plantas registradas en diciembre de ese año. En año 2009 se muestran dos valores, el primero corresponde a las registradas en septiembre de ese año y el segundo a las registradas en diciembre que fue el remanente de plantas vivas no afectadas por el incendio ocurrido a principios de noviembre de ese año.

La observación a posteriori del incendio mediante recorridos frecuentes por la zona de estudio permitió evaluar el estado del terreno y de la cobertura vegetal, además de censar las especies que se habían quemado, las que no habían sufrido daños por el incendio y las que rebrotaban o germinaban en las zonas afectadas. Uno de los primeros reportes de colonización de las zonas quemadas fueron dos especies de violetas (Planchuelo & Ravelo, 2010) y luego otras especies invasoras (Planchuelo & Ravelo, 2017)

Cuando las plantas fueron totalmente quemadas a partir de noviembre del 2009 no se registraron nuevas plantas hasta que en algunos casos los órganos de reproducción vegetativa que no fueron afectados (rizomas, o corona basal) rebrotaron o las simientes del banco del suelo germinaron luego de una adecuada humedad y temperatura. Las nuevas plantas adultas de las especies seleccionadas se incorporaron al estudio como si fueran un relicto de las anteriores.

A continuación se detallan los comportamientos

de las especies en relación a las condiciones meteorológicas reinantes.

Unidad de Muestreo 1:

***Baccharis articulata* y *B. crispa*:** Carqueja: En el ambiente natural las especies de carqueja se reproducen por rizomas y por semillas. En el área de estudio, se registraron en un primer momento seis plantas sin tener en cuenta la especie y el sexo de la planta. Como se puede observar en la Tablas 1, las seis plantas originales fueron destruidas. Los primeros registros de partes aéreas de una nueva planta ocurrió a fines de noviembre de 2012 cuando las temperaturas durante los meses primaverales fueron elevadas, y las buenas precipitaciones activaron la brotación posiblemente por el rebrote de los rizomas que fueron parcialmente afectados por las altas temperaturas del incendio. Dado que son especies megatérmicas no soportan heladas y necesitan una combinación de temperaturas superiores a los 28°C y buena humedad para activar la brotación, aunque las plantas por ser perennes mantienen las partes vegetativas del crecimiento de años anteriores. La planta censada en 2012 se mantuvo sola por otro año y luego una segunda planta fue censada en el 2013. La lentitud de la recuperación de la población posiblemente se vio afectada por el hecho de que necesitan la presencia en el entorno de plantas que tengan flores femeninas y plantas que tengan flores masculinas para que se pueda producir la fecundación y se generen las semillas. Para estas especies la destrucción de la población que fue afectada por el incendio influyó negativamente pasando a ser es-

Tabla 1: Número de plantas evaluadas durante los años de estudio

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
UM1	<i>Baccharis articulata</i> y <i>B. crispa</i>	6	6/0	0	0	1	2	3	3
	<i>Cesalpineae gilliesii</i>	8	8/1	1	1	3	6	8	10
	<i>Nierembergia</i> <i>linariaefolia</i> var. <i>linariaefolia</i>	7	7/0	0	0	1	4	5	6
	<i>Vachellia caven</i>	10	10/1	1	1	3	8	12	16
	<i>Vernonia incana</i>	8	8/0	1	1	2	3	5	6
UM2	<i>Gaillardia</i> <i>megapotamica</i> var. <i>radiata</i>	5	5/0	0	1	1	2	3	3
	<i>Gomphrena pulchella</i>	6	6/0	1	1	2	3	4	5
	<i>Minthostachys</i> <i>verticillata</i>	5	5/0	0	0	0	1	2	2
	<i>Sphaeralcea</i> <i>bonariensis</i> y <i>S.</i> <i>cordobensis</i>	6	6/0	1	1	1	2	3	3
	<i>Verbena rigida</i>	6	6/0	0	0	1	2	2	3

pecies vulnerables ante condiciones desfavorables, coincidiendo con lo indicado en Martínez et al. (2005) en donde el Índice de Prioridad de Conservación (ICP) es elevado para ambas especies (*Baccharis crispa* 4,61 y *B. articulata* 4,04).

***Caesalpinia gilliesii*:** Como se puede observar en la Tabla 1 de las ocho plantas iniciales, luego del incendio, sólo sobrevivió una que estaba en las periferias del área de estudio. Esa planta permaneció erecta con signos de haber sufrido pérdida de hojas y con ramas secas y no floreció ni fructificó en verano del 2009. En general esta especie comienza a activar la brotación a principios de primavera y la floración es más común que se produzca entre mediados de octubre y principios de noviembre según las condiciones de lluvias y temperaturas. El buen ciclo de precipitaciones en las primaveras de 2013 y 2014 activaron el crecimiento de nuevas plantas que poblaron el área de estudio encontrándose en la actualidad con un número de plantas superior al inicial en el 2008, lo que significa que a pesar de la destrucción casi total de las plantas iniciales por el incendio es una especie con condiciones naturales de resiliencia para recuperar su población en el área natural en donde crece.

***Nierembergia linariaefolia* var. *linariaefolia*:** Ninguna de las plantas de esta especie sobrevivió al incendio del 2009. Dado que los años subsiguientes fueron años secos no prosperaron nuevas plantas y recién se registró una planta en noviembre de 2012. Debido que es una especie de porte pequeño y achaparrado los signos de brotación son difíciles de identificar pero se estima que ocurre luego de lluvias abundantes y temperaturas por encima de los 25°C a mediados de noviembre. La planta se hace bien evidente durante la floración que comienza a principios de diciembre y tiene un pico máximo en diciembre-enero y en algunos años como en el período 2013-2014 se extendió hasta marzo del 2014. Si bien la totalidad de las plantas se perdieron luego del incendio (Tabla 1) se pudo evidenciar una recuperación lenta pero favorable de la población nativa durante los años con buenas temperaturas y humedad,

***Vachellia caven*:** La floración es temprana y se produce generalmente entre mediados de septiembre y mediados de octubre, antes de la brotación. Cuando las lluvias primaverales son tempranas la brotación se produce antes de que la planta llegue a la plena floración, pero generalmente las flores están en ramas desnudas sin hojas por más de 15 días. Durante los años de evaluación se pudo comprobar que produce una mayor cantidad de flores masculinas que hermafroditas en la misma planta y la producción de frutos es muy variable dado que

cuando se producen lluvias torrenciales durante el período de floración como en los años 2011 y 2013 se interrumpe la fecundación y hay baja o no producción de frutos, lo que confirma que el sistema reproductivo implica un gran sacrificio de recursos florales tal como lo anunciaron Aronson (1992) y Baranelli et al. (1995). Si bien la población fue devastada por el incendio dejando sólo una sola planta de las 10 iniciales, es una especie que a lo largo de los años recuperó y superó el número de plantas registradas en la zona de estudio (ver Tabla 1), por lo tanto, se considera que es una especie "sanadora" de los sistemas de bosques caducifolios (Boetto et al., 2000). De manera que tiene una buena resiliencia de recuperación, con un Índice de Prioridad de Conservación (Martínez et al., 2005) bajo (IPC 0,29). Por lo tanto, si el manejo de los usos para la medicina popular y para la extracción de plantas para leña no es exagerada, tiene una buena capacidad de seguir creciendo en su hábitat natural, a pesar de la influencia de los fuegos rurales.

***Vernonia incana*:** Ninguna de las plantas de esta especie sobrevivió al incendio, pero los rizomas de una de las plantas menos afectada rebrotaron al año siguiente y la planta produjo flores a fines de diciembre. Los años sucesivos se encontraron nuevas plantas por rebrote de rizomas de la planta madre, pero por estar muy juntas entre sí, a menos de tres metros se las consideraron como pertenecientes a la misma unidad de planta. Tal como lo muestra la Tabla 1, recién en noviembre de 2012 se registraron dos plantas pertenecientes a dos unidades de plantas distintas y lentamente nuevas plantas volvieron a colonizar el área inicial. Generalmente la brotación temprana comienza a fines de octubre y en los años húmedos como las primaveras de 2014 y 2015 la brotación fue abundante, pero a su vez se retrasó la floración que fue registrada a fines de diciembre, con un período de floración bastante largo que se extendió por todos los meses de verano. Esta especie mostró una buena capacidad de rebrote de sus plantas madres pero comparativamente poca expansión de su área de distribución por semillas dado que la comunidad luego de seis años no llegó a los valores iniciales de número de plantas.

Unidad de muestreo 2: UM2

***Gaillardia megapotamica* var. *radiata*:** Como se puede observar en la Tabla 1 las plantas fueron totalmente destruidas en el incendio de 2009, pasando más de un año sin poderse reportar ninguna planta. En diciembre de 2011 se censó una planta,

posiblemente por rebrote de las raíces gemíferas de una de las plantas menos afectadas. En los siguientes años esa planta madre produjo nuevas plantas pero por estar todas muy juntas fueron consideradas como pertenecientes a una sola unidad de planta. En diciembre de 2013 se registró otra planta que formaba una mata con rebrotes de una planta madre alejada a más de tres metros de la primera, posiblemente por previa escarificación y la geminación de una simiente del banco de semillas del suelo y con posterior brotación de raíces gemíferas. Dado que es una planta de porte achaparrado la iniciación de la brotación de la corona basal resultó dificultosa, estimándose que ocurre entre fines de noviembre y principios de diciembre. Luego a mediados de diciembre las inflorescencias están erguidas y la floración está plena y se hace visibles las plantas que continúan en estado de floración hasta de enero y en ocasiones se extiende hasta febrero como ocurrió en 2015. Esta planta a pesar de tener un sistema vegetativo de multiplicación, no es muy efectiva en la diseminación por semillas lo que la ubica en un rango de un Índice de Prioridad de Conservación medio de 1,54 (Martínez et al., 2005).

***Gomphrena pulchella ssp. rosea*:** Ninguna planta sobrevivió el incendio, pero al año siguiente se registró una planta que creció y floreció. La brotación de las plantas en general comienza a fines de noviembre y en muchas oportunidades pasa desapercibida por la estructura achaparrada y decumbente de la arquitectura de la planta, y se confunde con otras especies de igual porte. La planta es claramente identificada cuando el escapo floral crece por encima de los ocho centímetros, llevando las inflorescencias inmaduras en la parte apical. La plena floración ocurre unos 15 días después de elongado el escapo floral y a fines de diciembre. Dado que las brácteas de las inflorescencias son persistentes la planta se mantiene en un estado aparente de floración por todo el verano. La recuperación de la población se mostró lenta (ver Tabla 1) en un principio pero los años últimos que fueron húmedos favorecieron la germinación y crecimiento de nuevas plantas.

***Minthostachys verticillata*:** Las plantas de peperina fueron totalmente destruidas por el incendio del 2009, posiblemente debido a la fácil combustión que genera el alto contenido de aceites esenciales y por las características de crecer en parches cerca de la planta madre que provee las semillas. Como se puede observar en la Tabla 1 por más de dos años no se registró ninguna planta. Esa lentitud en la recuperación es debida a que la principal forma de diseminación de la especie en su hábitat es por semilla y fue necesario que

se produzca la escarificación y germinación de simientes aún viables del banco de semillas del suelo provenientes de años anteriores. Una vez que una nueva planta llegó al estado de fructificación comenzó a restablecerse la capacidad de regeneración de la población cuando las condiciones le fueron propicias en 2015. Esta especie es megatérmica y necesita altas temperaturas y humedad para rebrotar, generalmente a mediado o fines de primavera y tiene una floración extendida desde principios a fines de verano (diciembre-marzo). Es una de las especies nativas que por sus usos extractivos y por su regeneración lenta está con uno de los mayores índices de Prioridad de Conservación (IPC 5,38) entre todas las plantas medicinales de las sierras de Córdoba, según lo calculado por Martínez et al. (2005).

***Sphaeralcea bonariensis* y *S. cordobensis*:**

Como se puede observar en la Tabla 1, ninguna planta sobrevivió al incendio, pero al año siguiente se registró una planta y en los años subsiguientes se mantuvo esa planta que rebrotaba entre fines de octubre y principios de noviembre y florecía en diciembre. Recién en la primavera de 2013 se registró otra planta y una tercera en 2014. La lentitud de la generación de nuevas plantas se debió posiblemente a la necesidad de escarificación de las simientes que produjo la planta madre en 2010. Si bien tiene un bajo Índice de Prioridad de Conservación de 0,86, la lentitud en la regeneración de la población inicial señala que es una especie con poca resiliencia y no es factible de colonizar nuevos nichos una vez que se pierde la cadena productiva de simientes.

***Verbena rigida*:** Tal como se muestra en la Tabla 1, la población de seis plantas registradas en el 2008 se vio diezmada luego del incendio y tuvieron que pasar más de dos años para tener una nueva planta de esta especie creciendo en el área de muestreo. Es posible que las altas temperaturas generadas durante el incendio y la concentración de aceites esenciales de esta especie haya dañado los rizomas dejando sin la posibilidad de multiplicación vegetativa de las plantas dañadas y la nueva planta registrada en noviembre de 2012 se originó por la germinación de simientes enterradas en el suelo o traídas por un agente de dispersión de otro lugar aledaño. En años posteriores al 2012 se fueron registrando otras plantas brotadas de los rizomas de la planta madre que no fueron contabilizadas por considerarse como pertenecientes a la misma unidad de planta. Si bien la recuperación de la comunidad fue lenta se considera que la especie puede tener una buena resiliencia a problemáticas ambientales no tan drásticas como el incendio ocurrido.

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la ocurrencia de períodos de sequía caracterizados por baja humedad atmosférica y altas temperaturas generan condiciones propicias para la ocurrencia de incendios rurales que generan la pérdida de cobertura vegetal y de diversidad biológica. Los efectos de la variabilidad hídrica expresada como sequías o excesos hídricos se reflejan en la evolución de la vegetación y se manifiesta en la regeneración con una mayor o menor velocidad de crecimiento y reproducción de especies nativas.

El comienzo del período húmedo iniciado en 2012 hasta el 2016, que sólo fue interrumpido por algunos meses en 2013 marcó una mayor velocidad de reactivación de la vegetación con el incremento de plantas de las especies analizadas. En un análisis comparativo de los estados fenológicos entre las especies se pudo comprobar que se produjeron pequeños desfases cronológicos con respecto a los períodos de brotación y de floración. Las lluvias de septiembre de los años 2010 y 2012 reactivaron la brotación de muchas especies que fue más temprana que la de otros años. Sin embargo en varios casos la brotación temprana no estuvo correlacionada con una floración temprana, que fue registrada en los años 2011, 2013 y 2014. Se puso en evidencia que las especies con mayor resiliencia y rápida recuperación de su nicho ecológico luego de un disturbio ambiental, que incluso llegan a superar el número de individuos de su estado inicial son: espinillo (*Vachellia caven*) y lagaña de perro (*Cesalpineia gilliesii*); con una resiliencia adecuada pero más lenta en la recuperación están: flor de papel (*Gomphrena pulchella* ssp. *rosea*); chuscho (*Nierembergia linariaefolia* var. *linariaefolia*) y botón de oro (*Gaillardia megapotamica* var. *radiata*), mientras que con un grado más lento de recuperación están: verbena común (*Verbena rigida*) y escoba dura (*Vernonia incana*). Por otro lado, las más susceptibles a sufrir daños y pérdidas en sobrevivencia de las poblaciones fueron en mayor grado: peperina (*Minthostachys verticillata*), carquejas (*Baccharis articulata* y *B. crispa*) y malvas (*Sphaeralcea bonariensis* y *S. cordobensis*).

Las excesivas precipitaciones ocurridas en febrero del 2014, 2015 y 2016 permitieron evaluar, aunque no formaba parte de este estudio, los daños ambientales producidos por los excesos hídricos que causaron escorrentías en las laderas serranas y crecidas de los arroyos y ríos que ocasionaron anegamiento de las zonas bajas y cárcavas en las laderas por las escorrentías violentas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo económico de un subsidio del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba. Los autores agradecen la colaboración de Alejandro Barbeito en la confección de las ilustraciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias Toledo, B. 2009. Diversidad de usos, prácticas de recolección y diferencias según género y edad en uso de plantas medicinales en Córdoba, BLACPMA 8(5): 389-401.
- Aronson, J. 1992. Evolutionary Biology of *Acacia caven* (Leguminosae, Mimosoideae): Intraspecific Variation in Fruit and Seed Characters. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 79(4): 958-968.
- Báez, J. 2016. Canto a los árboles de Córdoba: guía de reconocimiento. Córdoba. Ecoval, Museo Botánico. 159 pp.
- Baranelli, J.L., Cocucci, A.A. & Anton, A.M. 1995. Reproductive biology in *Acacia caven* (Mol.) Mol. (Leguminosae) in the central region of Argentina. *Botanical J. Linnean Society* 119: 65-76.
- Barboza, G.E., Cantero, J.J., Nuñez, C.O. & Ariza Espinar, A. 2006. Flora medicinal de la Provincia de Córdoba (Argentina). Pteridófitas y Antófitas silvestres o naturalizadas. Edit. Gráficamente Ediciones. Córdoba. 1252 pp.
- Barrionuevo, V. & Planchuelo, A.M. 2008. Evaluación de métodos de recolección de simientes de especies nativas para permitir su reproducción y cultivo. 4to C. Arg. Floric: 540-545.
- Boetto, M.A., Meehan, A.R. & Planchuelo, A.M. 2000. Efecto de *Acacia caven* Cav. Sobre la recuperación del pastizal serrano. VII Jorn. Investigación. Fac. Ciencias Agropecuarias: 58.
- Braun-Blanquet, J., 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Blume Ediciones, Madrid.
- Burkart, A. 1952. Las Leguminosas Argentinas Silvestres y Cultivadas, 2ª edición. Buenos Aires: Acme Agency.
- Cabrera, A.L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. En: Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 14 (1-2): 42 pp.
- Césere, S., Meehan, A. & Boetto, M. 1997. Plantas nativas: su uso en espacios verdes urbanos. Córdoba, Edit. Eudecor, 95 pp.
- CREAN, 2017. Datos del PDSI mensual 2008-2016, www.crean.unc.edu.ar.
- Demaio, P., Karlin, U. O & Medina, M. 2002. Árboles Na-

- tivos del Centro de Argentina. Buenos Aires: L.O.L.A.
- Faye, P., Planchuelo, A. M. & Molinelli, M. L. 2002. Relevamiento de la flora apícola e identificación de cargas de polen en el sureste de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Agriscientia* 19:19-30.
- Gorgas, J.A. & Tassile, J.L. 2002. Regiones naturales de la Provincia de Córdoba. Agencia Córdoba DACyT. Córdoba. 103 pp.
- Gutiérrez, J. R. & J. J. Armesto. 1981. El rol del ganado en la dispersión de las semillas de *Acacia caven* (Leguminosae). *Ciencia e Investigación Agraria* 8: 3-8.
- Luti, R. 1979. Vegetación. En Vasqués, J.B., Miatello, R. y Proqué, M.E. (Editores). *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Córdoba, Ed. Boldt. Cap. 6: 297-368
- Manzur, A., Balbis, A., Arguello, G. & Sanabria, J., 1992. Bosquejo geomorfológico del área de La Lagunilla, Departamento Santa María. Córdoba
- Martínez G.J., Planchuelo, A.M., Fuentes, E. & Ojeda, M. 2005. A numeric index to establish conservation priorities for medicinal plants in the Paravachasca Valley, Córdoba, Argentina. *Biodiversity & Conservation* 15(8): 2457-2475.
- Marzocca, A. 1993. Index de plantas colorantes, tintóreas y curtientes. Manual de las especies de Argentina, Serie de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria 9:1-326
- Matteucci, S. & Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación, Serie Biología, Monografía 22. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C.
- Molinelli, M. L., Perissé, L. & Planchuelo, A. M. 2005. Semilla y plántula de *Acacia caven* (Mol.) Molina (Fabaceae, Mimosoideae). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 40 (Supl.): 72.
- Molinelli M. L., Perissé, P., Fuentes, E. & Planchuelo, A. M. 2013 Tratamiento etnobotánico de las especies medicinales comercializadas bajo los nombres vernáculos de "canchalagua" "espinillo" y "pulmonaria" en Córdoba, Argentina. *Dominguezia* 29 (Suplemento): 33.
- Molinelli M.L., Planchuelo A.M., Perissé P. & Fuentes E. 2006. Estudios morfológicos y anatómicos de especies nativas de interés medicinal en el Valle de Psaravachasca, Córdoba, Argentina. *Actas del IX Cong. Latinoameric. Botánica* : 232-233, Sto. Domingo, Rep. Dominicana
- Núñez, C. & Cantero, J.J. 2000. Las plantas medicinales del sur de la Provincia de Córdoba. Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto. 144 pp.
- Ojeda, M.S. & Karlin, U.O. 2015. Eds. *Plantas Aromáticas y medicinales modelos para su domesticación, producción y usos sustentables*. Ed. Universidad Nacional de Córdoba. 191
- Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. Documento de Investigación N° 45, Oficina Meteorológica del Departamento de Comercio, Washington, D.C.
- Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J.L., Joppa, L. N., Raven, P. H., Roberts, C.M. & Sexton J.O. 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* 344 (6187): 1246752 (1-10)
- Planchuelo, A. M. & Barrionuevo, V. 2016. Guía práctica para el reconocimiento y cultivo de especies silvestres de las sierras de Córdoba. 273 pp
- Planchuelo, A. M. & Ravelo, A. C. 2006. Evaluación del comportamiento de especies de *Viola* en las Sierras de Córdoba. 3r Cong. Arg. Floric. 73-76.
- Planchuelo, A. M. & Ravelo, A. M. 2007. Adaptación al cultivo de dos especies de *Viola* naturalizadas en las Sierras de Córdoba, Chagual 5:55-64.
- Planchuelo A. M. & Ravelo A. C. 2010. Evaluación de la regeneración de poblaciones de dos especies de violetas en tierras devastadas por incendios. *Revista Chagual* 8:49-54.
- Planchuelo, A. M. & Ravelo, A. C. 2017. Evaluating biodiversity losses and exotic species invasion in the Sierra de Córdoba, Argentina ecosystems, XIX International Botanical Congress. ID # 1066
- Planchuelo A.M., García, C., Teich, I. & Ravelo, A.C. 2009. Evaluación de la pérdida de diversidad de especies de interés etnobotánico en el valle de Paravachasca, Córdoba, *Bol. Soc. Argentina Botánica* 44: 44-45.
- Ragonese A. E. & Milano, V. A. 1984. *Vegetales y Substancias Tóxicas de la Flora Argentina*. Encicloped. Argent. Agric. y Jardin. 2(8.2), 413 pp. Acme, Buenos Aires.
- Ravelo, A.V. 2002. Relevamiento de la vegetación en relación a las características geomorfológicas del Departamento Santa María (Córdoba) Tesis de grado en FCEFyN, UNC: pp. 41.
- Ravelo, A. C. 2005. Monitoring land cover and drought occurrence along an ecological gradient in Argentina. *Proc. 2nd Inter. VEGETATION* 255-259.
- Ravelo, A. C., Planchuelo, A. M. & Pietragalla, V. 2009. Un cuestionario para el Mapeo de la Degradación de la Tierra y del Manejo Sustentable de la Tierra WOCAT Project (Versión inglesa 2008, Liniger, H. G. van Lynden, F. Nachtergaele & G. Schwilch). 42pp.
- Redacción LaVoz, 2015. Científicos de la UNC explican las causas de las inundaciones en Sierras Chicas. *Diario La Voz del interior* 18/03/2015. p15.
- Sérsic A. N y Cocucci, A. A., Benitez-Vieyra, S., Cosacov, A., Díaz, L., Glinos, E., Grosso, N., Lazarte, C., Medina, M., Moré, M., Moyano, M., Nattero, J., Paiaro, V., Trujillo, C. y Wiemer P. 2006. Flores del centro de Argentina. Una guía ilustrada para conocer 141 es-

- pecies nativas. Edit. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba 354 pp.
- Thorntwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Reviews*. Vol. 38, pp. 55-94.
- Ulibarri E. A., Gómez Sosa, E. V, Cialdella, A. M., Fortunato, R. H. & Bazzano, D. 2002. Leguminosas Nativas y Exóticas. En: Hurrell, J. A. & Lahitte, H. B. (Eds), *Biota Rioplatense VII*. Ed. L.O.L.A. Buenos Aires.
- Verzino, G. E., Hernández, R. A. Meehan, A. R., Joseau, M. J., Osés, D. H., Frassoni, J. Sánchez, S., Clausen, G., Salgado, C. E., Sosa, E. E. & Cisternas, P. A. 2016. Flora del bosque nativo del centro de Argentina. Valor paisajístico, tintóreo y apícola. Córdoba: Encuentro Grupo Editor.
- Vos, C. C. & Opdam, P. 1993. Patterns and processes in a landscape under stress: the study area. En Vos, C. C. & Opdam, P. (eds.), *Landscape Ecology of a Stressed Environment*. Chapman y Hall, Londres, pp. 1-27.
- Zanvettor, R. E., Ravelo, A. C. & Boletta P. E. C. 2016. Monitoreo y evaluación de las condiciones hídricas extremas (sequías y excesos de humedad) en Argentina. *RADA 7*: 15-25.