

# **INFLUENCIA DE LAS TEMPERATURAS EXTREMAS SOBRE EL RENDIMIENTO DE TRIGO EN CUATRO DEPARTAMENTOS DE LA REGIÓN PAMPEANA EN DISTINTAS ESCALAS TEMPORALES**

**Barberis, J.G.<sup>1</sup>; Barrucand, M.G.<sup>2,3</sup>, Rusticucci, M.M.<sup>2,3</sup>**

[barberis@agro.uba.ar](mailto:barberis@agro.uba.ar)

<sup>1</sup>Departamento de Educación Agropecuaria Facultad de Agronomía (UBA) Av. San Martín 4453 - C1417DSE - Buenos Aires - Argentina

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA)- CONICET Ciudad Universitaria Pab 2 Buenos Aires Argentina

<sup>3</sup>UMI3351/CNRS-CONICET-UBA

## **RESUMEN**

El monitoreo y pronóstico de los extremos climáticos es de suma importancia para la planificación de distintas actividades socioeconómicas. Actualmente se está prestando mayor atención al desarrollo de pronósticos estacionales, aunque todavía en muchos casos estos se encuentran en etapa experimental. Dichos pronósticos en general se realizan sobre una base mensual y trimestral, pero la influencia de los extremos térmicos no necesariamente se ajusta a estas escalas. La mayor sensibilidad del cultivo frente a un evento de temperatura extrema, por ejemplo, no tiene por qué corresponderse exactamente con un mes calendario, por lo que resulta útil el análisis decadal. Por otro lado, el cultivo se ve afectado por una suma de eventos térmicos que se van sucediendo a lo largo del período de desarrollo, por lo que una escala de análisis mayor a la de 3 décadas también resulta útil. Con el fin de evaluar la sensibilidad de la influencia de los extremos térmicos en las distintas etapas fenológicas del trigo se realizaron correlaciones entre índices de temperaturas extremas a escala trimestral, mensual y mensual decádica (tres décadas sucesivas) con los rendimientos del trigo en cuatro departamentos de la región pampeana. Los resultados evidencian que el impacto de las temperaturas extremas sobre el rendimiento del trigo de los cuatro departamentos de la región Pampeana analizados presenta características distintivas en cuanto al tipo de extremo de mayor influencia. Santa Rosa, con características de continentalidad, se ve mucho más afectada por los extremos de temperatura máxima (TX) que por los extremos de temperatura mínima (TN). Junín y San Pedro, en cambio, muestran mayor influencia de las temperaturas mínimas. Balcarce es la localidad que presenta menor asociación con las temperaturas extremas, destacándose únicamente la relación negativa con las temperaturas mínimas elevadas (TN90) y positiva con las temperaturas mínimas bajas (TN10) a escala trimestral.

Palabras clave: temperaturas extremas – trigo – Pampa Húmeda

## **ABSTRACT**

Monitoring and forecasting climate extremes is critical for planning various socio-economic activities. At present, more attention is given to the development of seasonal forecasts, although in many cases this is still experimental. Such forecasts are usually done on a monthly and quarterly basis, but the influence of thermal extremes not necessarily conform to these scales. The higher sensitivity of crops due to an extreme temperature event, for example, does not to be related exactly with a calendar month. For this reason, it is useful a decadal analysis. Furthermore, crops are affected by a sum of thermal events that are happening throughout the development period, so a major scale is also useful. In order to assess the sensitivity of the influence of temperature extremes in different phenological stages of wheat, correlations between indices of extreme temperatures and wheat yields were performed, considering quarterly, monthly and decadal-monthly (three consecutive decades) scales in four

departments of the Pampas. The results show that the impact of extreme temperatures on wheat yield at the four departments analyzed in Pampa region have distinctive features with respect of the type of extreme most influential. Santa Rosa, with more continental features, unlike other seasons studied, is much more affected by extreme maximum temperature (TX) than extreme minimum temperature (TN). Junín and San Pedro, by the other hand, present a greater influence of minimum temperatures. Balcarce is the one with less association with extreme temperatures, showing negative relationship with TN90 and positive relationship with TN10.

Key words: extreme temperature– wheat – humid Pampa

## 1) INTRODUCCIÓN

En el 5to informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), se afirma con alta confianza que se presentan más casos de impactos del cambio climático negativos que positivos en los cultivos. El informe, basado en varios estudios que cubren un amplio rango de regiones y cultivos, muestra que el cambio climático ha afectado negativamente al trigo en muchas regiones del mundo.

La primera manifestación del cambio climático es el cambio en la temperatura, no sólo en su valor medio global, sino también en la ocurrencia de sus extremos. Actualmente hay gran interés por el estudio de los mismos, por el impacto que éstos tienen en las actividades socioeconómicas, en la salud, en el transporte y muchos otros aspectos de la vida cotidiana. Algunos estudios referentes a este tema pueden encontrarse en Fernández Long et al (2013) para el centro-este Argentino, en un estudio previo de Rusticucci y Barrucand (2004) -para Argentina- y en Vincent et al (2005)-en Sudamérica-, entre otros.

El monitoreo (y pronóstico) de los extremos climáticos es de suma importancia para la planificación de distintas actividades socioeconómicas. La Guía de Prácticas Agrometeorológicas WMO-No. 134 (2010) destaca la importancia de los pronósticos agrometeorológicos como un servicio a la comunidad agrícola. Este enfoque de la predicción del tiempo es particularmente prometedor para la evaluación de las condiciones de los cultivos.

Actualmente se está prestando mayor atención al desarrollo de pronósticos estacionales, aunque todavía en muchos casos estos se encuentran en etapa experimental. Algunos ejemplos de pronóstico a escala mensual o trimestral pueden encontrarse en el Instituto de Investigaciones del Clima y la Sociedad (IRI), en el Centro de Predicción Climática de la NOAA (CPC) y a nivel local en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

Con respecto a la influencia de las temperaturas extremas sobre los cultivos, en el caso del trigo en particular, la bibliografía resalta como periodo crítico al mes comprendido desde aproximadamente 20 días antes de floración hasta 10 días posteriores al mismo (Abbate, et al 1995, Slafer y Savin 1991, Telefer 2013). Cabe destacar que este periodo de un mes no necesariamente tiene coincidencia con el mes calendario, pudiendo transcurrir parte del dicho periodo en un mes en particular y parte en el mes subsiguiente.

Con el fin de evaluar la influencia de las temperaturas extremas en distintas etapas fenológicas del trigo sobre los rendimientos, se realizaron correlaciones entre índices de temperaturas extremas en distintas escalas temporales y los rendimientos del trigo en cuatro departamentos de la región pampeana. Considerando que los pronósticos climáticos se realizan sobre una base mensual y trimestral, y que la influencia de los extremos térmicos no necesariamente se ajusta a estas escalas, se

espera poder evaluar la sensibilidad que tiene la elección de distintas escalas temporales sobre las relaciones "extremos térmicos - rendimientos" encontradas

## 2) MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este estudio, se trabajó con datos diarios de temperatura máxima (tmax) y mínima (tmin) de 4 estaciones meteorológicas distribuidas en la región centro-oriental de Argentina (figura 1) procedentes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y con las series de rendimiento de trigo correspondientes a los cuatro partidos o departamentos provinciales en los que se encuentran las estaciones meteorológicas. Los datos de rendimientos fueron suministrados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y de la Nación. El período analizado fue 1980 a 2009.

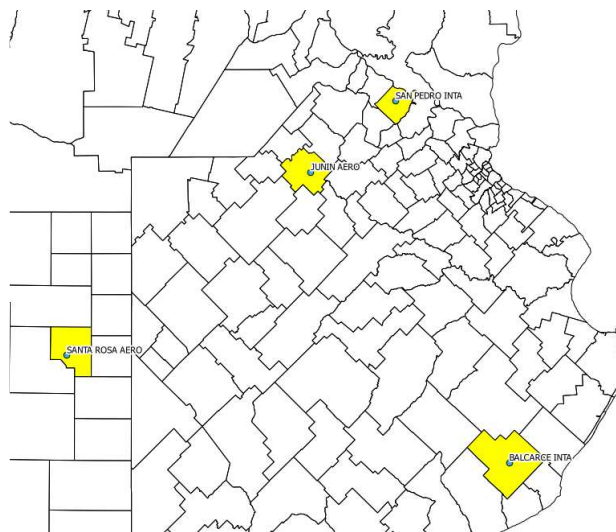


Figura 1: Ubicación de las 4 estaciones meteorológicas objeto de estudio

En función de lo encontrado por Verón *et al* (2004) la presencia de tendencia lineal en el rendimiento fue analizada. Dado que la baja frecuencia podría afectar la estabilidad de los resultados, se filtró dicho efecto en aquellos casos en los que fue estadísticamente significativa.

A partir de los datos de tmax y tmin diarias de cada estación meteorológica, se calcularon distintos índices de extremos de temperatura, basados en lo expuesto por CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ver <http://www.climdex.org/indices.html>). Los índices calculados fueron: la frecuencia porcentual de días con tmax (TX 90 y TX 10) y tmin (TN 90 y TN 10) superiores (inferiores) al percentil 90 (10), el número de días con temperatura superior a 30 °C (T.30) e inferior a 0°C (FD0) y 3°C (FD3), la diferencia media mensual entre las tmax y tmin (DTR) y el número de días con tmin superior a los 20° (TR20). En todos los casos se consideraron los meses del ciclo del cultivo (junio a diciembre). Todos estos índices fueron calculados en tres escalas distintas:

- Trimestral
- Mensual
- Mensual decádica (tres décadas sucesivas)

La elección de estas escalas temporales se basa en que los pronósticos se encuentran en general a escala trimestral y mensual, por lo que resulta útil contar con resultados que se correspondan con estas mismas escalas. Sin embargo, la mayor influencia de las temperaturas extremas sobre los cultivos en general, y el trigo en particular, no tienen por qué corresponderse con una escala de mes calendario. Por eso se incluyó en el análisis el estudio a escala mensual decádica, que involucra 3 décadas sucesivas que pueden o no coincidir con el mes calendario. Para visualizar el efecto de los extremos térmicos en el rendimiento, se realizaron correlaciones lineales simples.

### 3) RESULTADOS

Las siguientes tablas muestran las relaciones encontradas en cada una de las estaciones analizadas. En la localidad de **Balcarce** (Tabla 1) encontramos relaciones significativas del índice TN90 en los meses de octubre y noviembre a escala mensual con un nivel de significancia de 0.05. El análisis mensual decádico mostró que la relación tiene un mayor nivel de significancia entre la segunda década de octubre y la primera década de noviembre y, a nivel trimestral, para el periodo septiembre – noviembre.

Balcarce										
Mensual	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90	
jun	-0.08	0.14	-0.21	NA	0.24	0.22	NA	-0.11	0.02	
jul	0.02	0.00	0.00	NA	-0.15	0.02	NA	-0.05	0.08	
aug	0.00	0.08	0.11	NA	0.13	-0.15	NA	-0.05	-0.08	
sep	-0.05	0.28	0.25	NA	0.29	-0.09	NA	0.09	-0.25	
oct	0.02	-0.19	0.12	0.24	0.16	-0.39*	NA	0.09	-0.29	
nov	0.27	-0.06	0.20	-0.15	0.41*	-0.42*	-0.07	-0.16	-0.13	
dec	0.07	NA	0.24	-0.07	0.18	0.00	0.02	0.34	-0.02	
Trimestral	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90	
jun_jul_ago	-0.03	0.10	-0.04	NA	0.12	0.04	NA	-0.11	0.01	
jul_ago_sep	-0.01	0.12	0.16	NA	0.12	-0.13	NA	-0.02	-0.15	
ago_sep_oct	-0.01	0.16	0.27	0.24	0.29	-0.30	NA	0.07	-0.31	
sep_oct_nov	0.11	0.20	0.30	-0.11	0.49**	-0.52**	-0.07	0.02	-0.35	
nov_oct_dic	0.16	-0.20	0.23	-0.10	0.39*	-0.39*	0.00	0.24	-0.19	
Mensual decádica	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90	
b_jun1_2_3	-0.08	0.14	-0.21	NA	0.24	0.22	NA	-0.11	0.02	
b_jun2_3_71	-0.13	-0.08	-0.23	NA	-0.13	0.10	NA	-0.03	-0.09	
b_jun3_71_2	-0.07	0.05	-0.01	NA	-0.05	-0.08	NA	-0.05	-0.17	
c_jul1_2_3	0.02	0.00	0.00	NA	-0.15	0.02	NA	-0.05	0.08	
c_jul2_3_81	0.04	0.03	0.06	NA	0.03	0.03	NA	-0.11	-0.07	
c_jul3_81_2	-0.11	-0.05	-0.03	NA	-0.01	0.06	NA	-0.08	0.05	
d_ago1_2_3	0.00	0.08	0.11	NA	0.13	-0.15	NA	-0.05	-0.08	
d_ago2_3_91	-0.06	0.07	0.09	NA	0.11	-0.05	NA	0.05	-0.09	
d_ago3_91_2	0.09	0.25	0.25	NA	0.28	-0.10	NA	0.13	-0.11	
e_set1_2_3	-0.05	0.28	0.25	NA	0.29	-0.09	NA	0.09	-0.25	
e_set2_3_101	-0.07	0.25	0.18	NA	0.21	-0.34	NA	0.21	-0.23	
e_set3_101_2	-0.14	0.04	0.13	0.25	0.13	-0.35	NA	0.14	-0.41*	
f_oct1_2_3	0.02	-0.19	0.12	0.24	0.16	-0.39*	NA	0.09	-0.29	
f_oct2_3_111	0.16	-0.04	0.23	0.06	0.31	-0.49**	NA	-0.01	-0.20	
f_oct3_111_2	0.22	0.00	0.21	-0.1	0.39*	-0.45*	NA	-0.10	-0.10	
g_nov1_2_3	0.27	-0.06	0.20	-0.1	0.41*	-0.42*	-0.07	-0.16	-0.13	
g_nov2_3_121	0.18	-0.06	0.33	-0.1	0.32	-0.26	-0.07	-0.04	-0.03	
g_nov3_121_2	0.13	NA	0.04	-0.09	0.24	-0.12	-0.10	0.27	-0.07	
h_dic1_2_3	0.07	NA	0.24	-0.1	0.18	0.00	0.02	0.34	-0.02	

**Tabla 1.** Correlaciones simples entre los distintos índices de extremos de temperatura calculados y el rendimiento Nivel de significancia '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05. para la localidad de Balcarce.

El índice TN10 presentó correlaciones a una significancia de 0.05 en noviembre, aunque la relación significativa comienza desde la tercera semana de octubre, tal como se puede ver en el análisis mensual decádico. A escala trimestral, el trimestre septiembre- noviembre es el que presentó el mayor nivel de significancia en la correlación calculada.

El índice TX90 a escala mensual decádica presentó relaciones significativas al 0.05 para el periodo comprendido entre la tercera década de septiembre y la segunda de octubre. No se encontraron valores significativos a escala mensual ni trimestral.

Estos resultados muestran que los extremos de temperatura mínima son los que tienen mayor impacto en los rendimientos de trigo en la localidad, siendo perjudiciales las altas temperaturas mínimas (TN90) durante octubre y noviembre.

En **Junín** (tabla 2) también pudimos encontrar relaciones significativas al 0.05 en el índice TN90 para el mes de agosto y noviembre. Sin embargo, al analizar los datos a escala mensual decádica se observó que, en general, el periodo más extenso que resulta significativo se extiende desde septiembre a la segunda década de diciembre. A escala trimestral la significancia aumenta al 0.01 en el periodo septiembre- noviembre y octubre-diciembre.

Junín										
Mensual	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90	
jun	0.07	0.08	0.07	NA	0.05	-0.04	NA	0.04	-0.03	
jul	0.30	0.36*	0.29	-0.27	0.33	-0.06	NA	0.11	0.00	
aug	0.52	0.35	0.49**	0.23	0.22	-0.37*	NA	0.10	-0.04	
sep	0.29	-0.05	0.23	0.13	0.05	-0.14	-0.02	-0.04	0.27	
oct	0.56**	0.07	0.13	0.08	0.10	-0.27	-0.37*	-0.34	0.08	
nov	0.45*	NA	0.35	-0.12	0.47**	-0.45*	-0.52**	0.07	-0.23	
dec	0.28	NA	0.07	0.11	0.13	-0.18	0.00	-0.30	0.22	
Trimestral	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90	
jun_jul_ago	0.43	0.38*	0.41	0.13	0.27	-0.04	NA	0.14	-0.03	
jul_ago_sep	0.51	0.46*	0.6	0.18	0.33	-0.09	-0.02	0.12	0.08	
ago_sep_oct	0.64***	0.32	0.54**	0.22	0.20	-0.30	-0.28	-0.17	0.17	
sep_oct_nov	0.58**	-0.04	0.28	-0.06	0.32	-0.69***	-0.55**	-0.17	-0.03	
nov_oct_dic	0.57**	0.07	0.22	0.02	0.33	-0.62**	-0.29	-0.32	-0.01	
Mensual decádica	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90	
b_jun1_2_3	0.07	0.08	0.07	NA	0.05	-0.04	NA	0.04	-0.03	
b_jun2_3_71	-0.02	0.10	0.09	NA	0.09	-0.01	NA	0.24	-0.04	
b_jun3_71_2	-0.04	0.25	0.22	NA	0.24	-0.08	NA	0.31	-0.14	
c_jul1_2_3	0.30	0.36*	0.29	NA	0.33	-0.06	NA	0.11	0.00	
c_jul2_3_81	0.34	0.41*	0.42*	NA	0.30	-0.18	NA	0.08	-0.18	
c_jul3_81_2	0.46*	0.38*	0.42*	NA	0.21	-0.27	NA	0.04	0.01	
d_ago1_2_3	0.52	0.35	0.49**	0.23	0.22	-0.37*	NA	0.10	-0.04	
d_ago2_3_91	0.50	0.31	0.35	0.27	0.23	-0.20	NA	-0.11	0.26	
d_ago3_91_2	0.31	0.16	0.31	0.23	0.11	0.01	-0.02	-0.13	0.24	
e_set1_2_3	0.29	-0.05	0.23	0.13	0.05	-0.14	-0.02	-0.04	0.27	
e_set2_3_101	0.28	-0.03	0.25	-0.13	0.09	-0.28	-0.02	-0.21	0.02	
e_set3_101_2	0.45*	0.13	0.24	-0.08	0.13	-0.39*	-0.37*	-0.25	-0.06	
f_oct1_2_3	0.56**	0.07	0.13	0.08	0.10	-0.27	-0.37*	-0.34	0.08	
f_oct2_3_111	0.53**	NA	0.09	-0.09	0.29	-0.36*	-0.29	-0.06	-0.04	
f_oct3_111_2	0.52**	NA	0.26	-0.19	0.42*	-0.37*	-0.37*	0.06	-0.19	
g_nov1_2_3	0.45*	NA	0.35	-0.12	0.47**	-0.45*	-0.52**	0.07	-0.23	
g_nov2_3_121	0.39	NA	0.27	0.06	0.25	-0.40*	-0.42*	-0.09	-0.16	
g_nov3_121_2	0.31	NA	0.07	0.13	0.35	-0.37*	-0.24	-0.25	0.09	
h_dic1_2_3	0.28	NA	0.07	0.11	0.13	-0.18	0.00	-0.30	0.22	

**Tabla 2.** Correlaciones simples entre los distintos índices de extremos de temperatura calculados y el rendimiento Nivel de significancia '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05. para la localidad de Junín TN10 presentó correlaciones significativas al 0.01 y al 0.05 entre la tercera década de octubre y la segunda semana de noviembre. No se encontraron correlaciones significativas a escala trimestral.

El índice DTR presentó relaciones significativas al 0.01 y 0.05 para octubre y noviembre respectivamente. Con el análisis mensual decadal pudo comprobarse que la relación significativa comienza, en realidad, en la tercera década de septiembre. A escala trimestral se obtuvieron correlaciones significativas al 0.01 en los periodos de septiembre – noviembre y octubre – diciembre y de 0.001 en el periodo agosto - octubre, evidenciando la importancia de la amplitud térmica en esta escala temporal.

El índice TR20 presentó correlaciones significativas al 0.05 y 0.01 para octubre y noviembre respectivamente a escala mensual y a escala mensual decadal, con la que pudo corroborarse que la relación significativa comienza a ser significativa desde la tercera década de septiembre. En la escala trimestral, la correlación resultó significativa al 0.01 en el período septiembre-noviembre.

Los índices FDO y FD3 presentaron relaciones significativas 0.05 y 0.01 para julio (FDO) y agosto (FD3). El análisis mensual decadal puso en evidencia que estas relaciones significativas se extienden (para el caso de FDO) o adelantan (para el caso de FD3) dos semanas más respecto del mes indicado en cada caso. A escala trimestral, tanto el índice FDO como el FD3 presentaron resultados significativos, siendo el trimestre julio-septiembre el que evidenció las correlaciones más altas.

Al igual que Junín, en **San Pedro** (tabla 3) encontramos relaciones significativas al 0.05 con el índice TN90 para el mes de agosto y noviembre, pero al analizar en forma decadal se observó que el período significativo se extiende hasta la primera década de diciembre, con un nivel de significancia de 0.01. A escala trimestral la significancia es de 0.05 en los periodos septiembre – noviembre y octubre – diciembre. TN10 presentó correlaciones significativas al 0.05 solamente desde la segunda década de septiembre a la segunda de octubre.

El índice TX90 presentó relaciones significativas al 0.05 en los meses de agosto y noviembre. Al analizar la escala mensual decadal también se observaron relaciones significativas en el período comprendido entre la segunda década de julio hasta la primera de agosto. No se observaron resultados significativos a escala trimestral.

Finalmente, FD3 sólo presentó una relación significativa al 0.05 en el periodo tercera década de setiembre a la segunda década de octubre. Este período resulta especialmente sensible a los extremos, ya que se encontraron relaciones significativas negativas con los extremos cálidos de temperatura y positivas con índices térmicos de bajas temperaturas.

San Pedro											
Mensual	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90		
jun	0.00	-0.28	-0.18	NA	-0.35	0.02	NA	-0.20	-0.02		
jul	0.11	0.18	0.05	-0.32	0.15	-0.03	NA	0.06	0.02		
ago	0.06	-0.03	0.24	-0.54**	0.03	-0.37*	-0.30	0.18	-0.42*		
sep	-0.06	-0.14	-0.09	-0.03	0.11	0.03	0.28	0.09	0.02		
oct	0.44	0.07	0.22	-0.16	0.22	-0.20	-0.20	-0.15	-0.10		
nov	0.00	NA	0.09	-0.34	0.26	-0.42*	-0.32	0.15	-0.39*		
dec	0.19	NA	NA	0.12	0.18	0.04	0.10	-0.16	0.15		
Trimestral	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90		
jun_jul_ago	0.07	-0.02	0.04	-0.61***	-0.08	-0.19	-0.30	0.02	-0.23		
jul_ago_sep	0.04	0.09	0.13	-0.46**	0.15	-0.20	0.10	0.19	-0.21		
ago_sep_oct	0.18	-0.09	0.21	-0.40*	0.24	-0.29	-0.06	0.11	-0.31		
sep_oct_nov	0.16	-0.13	-0.02	-0.34	0.33	-0.40*	-0.29	0.05	-0.29		
nov_oct_dic	0.28	0.07	0.25	-0.14	0.35	-0.39*	-0.10	-0.10	-0.19		
Mensual decádica	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90		
b_jun1_2_3	0.00	-0.28	-0.18	NA	-0.35	0.02	NA	-0.20	-0.02		
b_jun2_3_71	0.07	-0.08	-0.10	NA	-0.20	-0.05	NA	-0.07	0.06		
b_jun3_71_2	0.03	0.06	0.07	-0.32	0.02	-0.06	NA	0.04	0.02		
c_jul1_2_3	0.11	0.18	0.05	-0.32	0.15	-0.03	NA	0.06	0.02		
c_jul2_3_81	0.00	0.07	0.02	-0.40*	0.00	-0.13	NA	0.06	-0.37*		
c_jul3_81_2	0.00	-0.02	0.05	-0.37*	0.01	-0.18	NA	0.17	-0.24		
d_ago1_2_3	0.06	-0.03	0.24	-0.54**	0.03	-0.37*	-0.30	0.18	-0.42*		
d_ago2_3_91	-0.03	0.02	0.02	-0.43*	-0.01	-0.12	0.13	-0.02	-0.05		
d_ago3_91_2	-0.09	0.02	-0.09	-0.40*	-0.09	0.09	0.10	-0.16	-0.09		
e_set1_2_3	-0.06	-0.14	-0.09	-0.03	0.11	0.03	0.28	0.09	0.02		
e_set2_3_101	0.11	-0.11	0.21	-0.22	0.36*	-0.21	-0.08	0.17	-0.34		
e_set3_101_2	0.36	-0.08	0.45*	-0.37*	0.44*	-0.46*	-0.24	0.14	-0.30		
f_oct1_2_3	0.44	0.07	0.22	-0.16	0.22	-0.20	-0.20	-0.15	-0.10		
f_oct2_3_111	0.29	NA	-0.01	-0.29	0.19	-0.27	-0.30	-0.12	-0.22		
f_oct3_111_2	0.18	NA	0.34	-0.36*	0.27	-0.24	-0.29	0.15	-0.31		
g_nov1_2_3	0.00	NA	0.09	-0.34	0.26	-0.42*	-0.32	0.15	-0.39*		
g_nov2_3_121	0.08	NA	0.09	-0.11	0.21	-0.50**	-0.30	0.06	-0.26		
g_nov3_121_2	0.10	NA	-0.21	0.01	0.16	-0.28	-0.13	-0.08	-0.14		
h_dic1_2_3	0.19	NA	NA	0.12	0.18	0.04	0.10	-0.16	0.15		

**Tabla 3.** Correlaciones simples entre los distintos índices de extremos de temperatura calculados y el rendimiento Nivel de significancia '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05. para la localidad de San Pedro.

Con características de mayor continentalidad, Santa Rosa se ve mucho más afectada por los extremos de temperatura máxima que por los extremos de temperatura mínima. Las elevadas (bajas) temperaturas máximas influyen negativamente (positivamente) sobre los rendimientos durante todo el período analizado, en la mayoría de las escalas temporales consideradas. Esto también se refleja en el impacto de la amplitud térmica (tabla 4)

Las relaciones mencionadas resultan especialmente significativas entre la tercera década de septiembre y segunda de noviembre

Santa Rosa											
Mensual	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90		
jun	-0.13	0.08	0.26	NA	0.09	0.12	NA	0.34	-0.17		
jul	-0.40*	-0.05	0.05	NA	-0.22	-0.08	NA	0.47**	-0.45*		
aug	-0.44*	0.08	-0.01	0.07	0.04	0.05	NA	0.52**	-0.13		
sep	-0.52**	-0.24	-0.31	-0.20	-0.35	0.27	NA	0.28	-0.40*		
oct	-0.62***	0.03	-0.14	-0.49**	-0.36	-0.20	NA	0.56**	-0.43*		
nov	-0.42*	0.12	0.12	-0.45*	0.05	-0.30	-0.05	0.30	-0.44*		
dec	-0.14	NA	0.17	-0.28	0.45*	0.00	0.12	0.40*	-0.23		
Trimestral	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90		
jun_jul_ago	-0.44*	0.05	0.15	0.07	-0.05	0.04	NA	0.58***	-0.45*		
jul_ago_sep	-0.57**	-0.06	-0.08	-0.14	-0.26	0.12	NA	0.60***	-0.52**		
ago_sep_oct	-0.67***	-0.03	-0.23	-0.50**	-0.34	0.13	NA	0.65***	-0.43*		
sep_oct_nov	-0.65***	-0.22	-0.33	-0.59***	-0.38	-0.14	-0.05	0.56**	-0.63***		
nov_oct_dic	-0.53**	0.07	-0.07	-0.51**	0.06	-0.27	0.09	0.58***	-0.53**		
Mensual decádica	DTR	FD0	FD3	T.30	TN10	TN90	TR20	TX10	TX90		
b_jun1_2_3	-0.13	0.08	0.26	NA	0.09	0.12	NA	0.34	-0.17		
b_jun2_3_71	-0.28	0.12	0.37*	NA	0.01	-0.16	NA	0.42*	-0.52**		
b_jun3_71_2	-0.26	0.06	0.28	NA	-0.13	-0.39*	NA	0.53**	-0.56**		
c_jul1_2_3	-0.40*	-0.05	0.05	NA	-0.22	-0.08	NA	0.47**	-0.45*		
c_jul2_3_81	-0.34	-0.04	-0.05	NA	-0.07	0.08	NA	0.37*	-0.29		
c_jul3_81_2	-0.27	0.03	-0.01	NA	0.07	0.15	NA	0.37*	-0.23		
d_ago1_2_3	-0.44*	0.08	-0.01	0.07	0.04	0.05	NA	0.52**	-0.13		
d_ago2_3_91	-0.47**	-0.01	-0.13	0.07	-0.19	0.31	NA	0.39*	-0.22		
d_ago3_91_2	-0.47**	-0.19	-0.22	-0.23	-0.36	0.34	NA	0.29	-0.28		
e_set1_2_3	-0.52**	-0.24	-0.31	-0.20	-0.35	0.27	NA	0.28	-0.40*		
e_set2_3_101	-0.53**	-0.20	-0.24	-0.36	-0.25	0.10	NA	0.38*	-0.41*		
e_set3_101_2	-0.56**	-0.05	-0.13	-0.37*	-0.24	0.03	NA	0.69***	-0.39*		
f_oct1_2_3	-0.62***	0.03	-0.14	-0.49**	-0.36	-0.20	NA	0.56**	-0.43*		
f_oct2_3_111	-0.68***	-0.04	-0.09	-0.59***	-0.40*	-0.28	NA	0.63***	-0.51**		
f_oct3_111_2	-0.66**	0.12	0.10	-0.61***	-0.13	-0.40*	-0.12	0.52**	-0.57***		
g_nov1_2_3	-0.42*	0.12	0.12	-0.45*	0.05	-0.30	-0.05	0.30	-0.44*		
g_nov2_3_121	-0.06	0.30	0.26	-0.34	0.29	-0.32	-0.11	0.37*	-0.31		
g_nov3_121_2	-0.07	NA	0.17	-0.27	0.35	-0.15	0.04	0.31	-0.29		
h_dic1_2_3	-0.14	NA	0.17	-0.28	0.45*	0.00	0.12	0.40*	-0.23		

**Tabla 4.** Correlaciones simples entre los distintos índices de extremos de temperatura calculados y el rendimiento Nivel de significancia '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05. para la localidad de Santa Rosa.

#### 4) CONCLUSIONES

El análisis de correlación entre los rendimientos de trigo e índices de temperaturas extremas en diferentes escalas temporales, permitió obtener una visión más precisa sobre estas relaciones para cuatro departamentos de la Región Pampeana. Claramente, la mayor sensibilidad del cultivo frente a un evento de temperatura extrema no tiene por qué corresponderse exactamente con un mes calendario, por lo que resulta útil el análisis decadal. Por otro lado, el cultivo se ve afectado por una suma de eventos térmicos que se van sucediendo a lo largo del período de desarrollo, por lo que una escala de análisis mayor a la de 3 décadas también resulta útil. Analizando los resultados en distintas escalas, pudo evaluarse la importancia de cada índice térmico en el rendimiento del cultivo.

Tal como se había mostrado en Barberis y otros (2014), la estación Balcarce es la que presenta menor



asociación con las temperaturas extremas. En el estudio que aquí se presenta puede destacarse la relación negativa (positiva) entre TN90 (TN10) para el trimestre septiembre a noviembre, evidenciando el efecto negativo de valores de temperatura mínimas elevadas. Al realizar el análisis decadal se observó que esta relación es mayor entre la tercera década de octubre y la segunda de noviembre.

Junín presentó relaciones significativas (negativas) entre TN90 y los rendimientos, entre agosto y diciembre. A escala mensual decadal se observan las correlaciones significativas en el mes de agosto y entre la tercera década de septiembre y la segunda de diciembre.

Los resultados encontrados para San Pedro resultaron similares a los encontrados para Junín, especialmente en lo referido a la influencia de las temperaturas mínimas elevadas, que influyen negativamente sobre los rendimientos de trigo. Las relaciones más significativas se obtuvieron para los meses de agosto y noviembre, aunque el análisis decadal evidenció que la influencia se extiende hasta la primera década de diciembre. El período comprendido entre la 3era década de septiembre y la segunda de octubre ha reflejado una gran sensibilidad a los extremos térmicos, al destacarse no solamente la influencia negativa de TN90, sino también la influencia positiva de TN10.

La estación Santa Rosa, con características de mayor continentalidad, y a diferencia de las otras estaciones estudiadas, se ve mucho más afectada por los extremos de temperatura máxima (TX) que por los extremos de temperatura mínima (TN). Las elevadas (bajas) temperaturas máximas influyen negativamente (positivamente) sobre los rendimientos durante todo el período analizado, en la mayoría de las escalas temporales consideradas.

Estos resultados evidencian que el impacto de las temperaturas extremas sobre el rendimiento del trigo de los cuatro departamentos de la región Pampeana analizados presenta características distintivas en cuanto al tipo de extremo de mayor influencia. Esto pone a consideración la necesidad de un correcto monitoreo de los índices que presentan la mayor relación con los rendimientos en cada localidad, de manera que esto permita a futuro, la búsqueda de predictores de los mismos a escala estacional o sub-estacional.

**AGRADECIMIENTOS:** subsidios CONICET PIP 0227 - UBACyT 2014-2017 20020130200142BA y 20020130100263BA

## REFERENCIAS

- Abbate, P.E.; F.H. Andrade y J.P. Culot, 1995.** The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci., Camb.* 124, 351-360.
- Barberis, J.G. ; Barrucand, M. Rusticucci, M. 2014** Influencia de las temperaturas extremas sobre el rendimiento de trigo en cuatro departamentos de la región pampeana para el período 1980-2009. Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología. XV Reunión Argentina de Agrometeorología. Piriápolis, Uruguay. 1-3 de Octubre de 2014
- Fernández-Long ME, Müller G, Beltrán-Przekurat A, 2013** Scarpati O. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina *Int. J. Climatol.* 33: 1673–1686 (2013)
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA**
- Rusticucci M, Barrucand M. 2004** Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina. *Journal of Climate* vol 17, No. 20, 4099-4107, 2004.
- Slafer, G.A. , Savin, R., 1991.** Developmental Base Temperature in different Phenological Phases of Wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Experimental Botany*, 42:1077-1082.

**Telfer P., Edwards J., Kuchel H., Reinheimer J., and Bennett D., 2013** Heat stress tolerance of wheat. <http://www.grdc.com.au/Research-and-Development/GRDC-Update-Papers/2013/02/Heat-stress-tolerance-of-wheat>

**Verón S, Paruelo J, M., Slafer G, 2004** Interannual variability of wheat yield in the Argentine Pampas during the 20th century Agriculture, Ecosystems and Environment 103; 177–190.

**Vincent, L.A., et al. 2005** Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. Journal of Climate, 18: 5011-5023. 2005

**World Meteorological Organization 2010** Guide to Agricultural Meteorological Practices en [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/gamp\\_en.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/gamp_en.php)