

## Tesis de Maestría

# Cuantificación del impacto de los eventos climáticos extremos de temperatura sobre los rendimientos de trigo de la región pampeana ampliada analizado un período de 30 años

Barberis, Juan Guillermo

2018-05-23

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

**Cita tipo APA:**

Barberis, Juan Guillermo. (2018-05-23). Cuantificación del impacto de los eventos climáticos extremos de temperatura sobre los rendimientos de trigo de la región pampeana ampliada analizado un período de 30 años. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

**Cita tipo Chicago:**

Barberis, Juan Guillermo. "Cuantificación del impacto de los eventos climáticos extremos de temperatura sobre los rendimientos de trigo de la región pampeana ampliada analizado un período de 30 años". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2018-05-23.

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires



**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**  
**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**  
**Facultad de Agronomía**  
**Maestría en Meteorología Agrícola**

Cuantificación del impacto de los eventos climáticos extremos de temperatura sobre los rendimientos de trigo de la región pampeana ampliada analizado un período de 30 años.

**Tesis presentada para optar al título de Magíster de la Universidad de Buenos Aires en Meteorología Agrícola**

**Maestrando: Ing. Agr. Juan Guillermo Barberis**

**Director de tesis: Dra. Mariana Barrucand**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| Resumen _____   | 5         |
| Abstract _____  | 5         |
| <b>CAPITULO 1 _____</b>   | <b>9</b>  |
| <b><i>El Cultivo de trigo</i> _____</b>   | <b>9</b>  |
| Introducción _____  | 10        |
| Generalidades sobre la fisiología del trigo y su rendimiento _____              | 11        |
| Influencia de la Temperatura sobre el cultivo de trigo _____                    | 13        |
| El Cambio climático y el rendimiento de trigo _____                             | 15        |
| Las temperaturas extremas y su influencia sobre los rendimientos de trigo _____ | 16        |
| Objetivos del trabajo de tesis _____  | 17        |
| Objetivo principal _____  | 17        |
| Objetivos secundarios _____   | 17        |
| Estructura de la tesis _____  | 18        |
| <b>CAPITULO 2 _____</b>   | <b>19</b> |
| <b><i>Caracterización estadística de las temperaturas extremas</i> _____</b>    | <b>19</b> |
| Introducción _____  | 20        |
| Máximas Absolutas _____   | 22        |
| Mínimas Absolutas _____   | 24        |
| Máximas y Mínimas extremas definidas por umbrales _____                         | 26        |
| TNP10 _____   | 26        |
| TXP10 _____   | 28        |
| TNP90 _____   | 29        |
| TXP90 _____   | 31        |
| <b>CAPITULO 3 _____</b>   | <b>34</b> |
| <b><i>Cálculo de índices de extremos climáticos</i> _____</b>                   | <b>34</b> |
| Introducción _____  | 35        |

|   |    |
|---|----|
| Índices Térmicos Definidos Por Umbrales Fijos _____                             | 37 |
| T0 _____  | 37 |
| T3 _____  | 40 |
| T30 _____   | 43 |
| Índices Térmicos Basados En Percentiles _____                                   | 45 |
| TN10 (frecuencia de noches frías inferiores al umbral del percentil 10) _____   | 46 |
| TN90 (frecuencia de noches cálidas superiores al umbral del percentil 90) _____ | 49 |
| TX10 (frecuencia de días fríos inferiores al umbral del percentil 10) _____     | 51 |
| TX90 (frecuencia de días cálidos superiores al umbral del percentil 90) _____   | 53 |
| <b>DTR</b> _____  | 56 |

## **CAPITULO 4** \_\_\_\_\_ **60**

### ***Relación entre los extremos de temperatura y los rendimientos*** \_\_\_\_\_ **60**

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Introducción _____                  | 61 |
| Impacto de los extremos fríos _____ | 63 |
| T0 y T3 _____                       | 63 |
| TN10 y TX10 _____                   | 69 |
| Impacto de extremos cálidos _____   | 74 |
| T30 _____                           | 74 |
| TN90 _____                          | 76 |
| TX90 _____                          | 79 |
| DTR _____                           | 83 |

## **CAPITULO 5** \_\_\_\_\_ **87**

### ***Estadística de diferencias de rendimiento bajo condiciones térmicas***

#### ***extremas opuestas*** \_\_\_\_\_ **87**

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Introducción _____                  | 88 |
| Impacto de los extremos fríos _____ | 89 |
| T0 y T3 _____                       | 89 |
| TN10 y TX10 _____                   | 90 |
| Impacto de extremos cálidos _____   | 91 |
| T30 _____                           | 91 |
| TN90 y TX90 _____                   | 92 |
| DTR _____                           | 93 |

**CAPITULO 6** \_\_\_\_\_ **95**

***Cuantificación de diferencias de rendimiento bajo condiciones térmicas***

***extremas opuestas*** \_\_\_\_\_ **95**

Introducción \_\_\_\_\_ 96

Impacto de los extremos fríos fijos \_\_\_\_\_ 96

T0 y T3 \_\_\_\_\_ 96

Impacto de los extremos cálidos fijos \_\_\_\_\_ 100

T30 \_\_\_\_\_ 100

Impacto de los extremos basados en percentiles \_\_\_\_\_ 103

Temperatura mínima TN10 (noches frías) y TN90 (noches cálidas) \_\_\_\_\_ 103

Temperatura máxima TX10 (días fríos) y TX90 (días cálidos) \_\_\_\_\_ 108

Impacto de la Amplitud Térmica DTR \_\_\_\_\_ 113

**CAPITULO 7** \_\_\_\_\_ **119**

**CONCLUSIONES** \_\_\_\_\_ **119**

Síntesis y conclusiones \_\_\_\_\_ 120

**BIBLIOGRAFÍA** \_\_\_\_\_ **124**

## Resumen

Dentro de las variables que influyen en la obtención del rendimiento de un cultivo agrícola, una de las fuentes de mayor variabilidad es el clima, sobre todo para aquellos casos que se realizan a cielo abierto y en seco, como es el caso del trigo en la Región Pampeana. En este trabajo de tesis se realiza un estudio exhaustivo a escala climática de la influencia de los extremos de temperatura en los rendimientos de trigo ocurridos en los últimos 30 años, en diferentes sitios de la Región Pampeana ampliada (Argentina). Para ello se tomaron distintos índices térmicos a escala decádica (10 días) y mensual, derivados de datos diarios de temperatura máxima y mínima de 28 localidades de la región y datos fenométricos de rendimientos de trigo suministrados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, para las campañas agrícolas 1980-1981 al 2009-2010. Los índices de extremos de temperatura considerados tuvieron en cuenta, para su definición, umbrales fijos de interés agronómico (tales como los asociados a heladas meteorológicas o agrometeorológicas) y umbrales basados en percentiles (10 y 90), de manera de tomar aquellos casos extremos respecto a la climatología de cada lugar. Además de los índices mencionados se consideró también la amplitud térmica (DTR). Distintas metodologías estadísticas, que incluyeron cálculos de correlaciones y métodos no paramétricos, permitieron encontrar asociaciones significativas entre los extremos de temperatura y los rendimientos. Los resultados obtenidos destacan un impacto diferenciado de cada extremo, no solamente en lo que respecta al índice térmico o a la etapa fenológica del trigo, sino también a la región de la Pampa Húmeda considerada. Los índices relacionados con temperaturas mínimas y máximas cálidas tuvieron una influencia negativa sobre los rendimientos, siendo más marcado el efecto de las máximas cálidas en las localidades del oeste y de las mínimas cálidas en las estaciones del este, donde climáticamente hay una mejor disponibilidad de agua. Esto se termina reflejando en las relaciones encontradas con DTR, que en términos generales evidencia una relación positiva en las localidades ubicadas en el este de la Pampa Húmeda, mientras que las ubicadas al oeste presentan una relación negativa. Los índices relacionados con las temperaturas mínimas frías tuvieron un impacto diferenciado (positivo o negativo) en función del período (y por ende, la fase fenológica) considerado. Los resultados vinculados con las temperaturas “máximas frías”, en cambio, evidenciaron un influencia positiva en todo el ciclo del trigo. Estos resultados resaltan la importancia que tiene el estudio de extremos climáticos en forma diferenciada, y plantean la necesidad de poder avanzar en estudios de pronóstico estacional de extremos climáticos para mejorar las estrategias de manejo de cultivos.

## Abstract

Among the variables that influence the yield of an agricultural crop, one of the sources of greater variability is the climate, especially in opencast and rainfed agriculture, such as the case of wheat in the Argentine Pampa. In this thesis, a comprehensive climatic study of the influence of temperature extremes on

wheat yields occurring in the last 30 years at different sites of the extended Pampean Region (Argentina) is carried out. To do this, different thermal indices were taken at decadic (10 days) and monthly scale, derived from daily data of maximum and minimum temperature of 28 meteorological station of the region and phenometric data of wheat yields supplied by the Ministry of Agriculture, Livestock and Fisheries, for the agricultural campaigns 1980-81 to 2009-2010. The temperature extremes indices considered, for their definition, fixed thresholds of agronomic interest (such as those associated with meteorological or agro meteorological frosts) and thresholds based on percentiles (10 and 90), in order to take extreme cases with respect to the climatology of each place. In addition to the mentioned indices, the diurnal temperature range (DTR) was also considered. Different statistical methodologies, including correlations calculus and non-parametric methods, allowed to find significant associations between temperature extremes and yields. The results highlight a differentiated impact of each thermal extreme, not only with respect to the index analyzed or the phenological stage of the wheat, but also to the region of the Pampa Humid considered. The indices related to minimum and maximum temperatures had a negative influence on the yields. The warmer maximum temperature (warm days) had a greater impact over the western locations and the warmest minimum temperature (warm nights) in the eastern stations, where climatically there is a better water availability. This is reflected in the relationships found with DTR, which in general terms showed a positive (negative) relationship in the localities located in the east (west) of the Humid Pampa. The indices related to the cold minimum temperatures (cold nights) had a differentiated impact (positive or negative) in relation to the period (and therefore, the phenological phase) considered. The results associated with the "cold maximum" temperatures (cold days), on the other hand, showed a positive influence throughout the wheat cycle. These results highlight the importance of the study of climatic extremes in a differentiated way, and raise the need to progress in seasonal forecast studies of climatic extremes to improve crop management strategies.

A mi esposa Ana.  
Mis hijas María Lujan, María Noel y María Paz.  
Mis padres Oscar y Matilde.



## **Agradecimientos:**

Quiero agradecer a todos aquellos que me apoyaron para que esta tesis fuera posible. En primer lugar a mi directora la Doctora Barrucand sin cuya ayuda y sostenimiento no hubiera llegado a feliz término. A la Doctora Rusticucci y los Doctores Miralles y García por su aportes valiosos y la disponibilidad permanente y desinteresada para discutir los resultados. A la comisión de Maestría y al Jurado de Tesis por sus comentarios y sugerencias tendientes en todo momento al mejoramiento de la tesis presentada. Finalmente quiero agradecer de modo muy especial a mi familia mi señora y mis hijas, como así también a mis hermanos que me ayudaron en todo momento durante el tiempo que duro la misma.

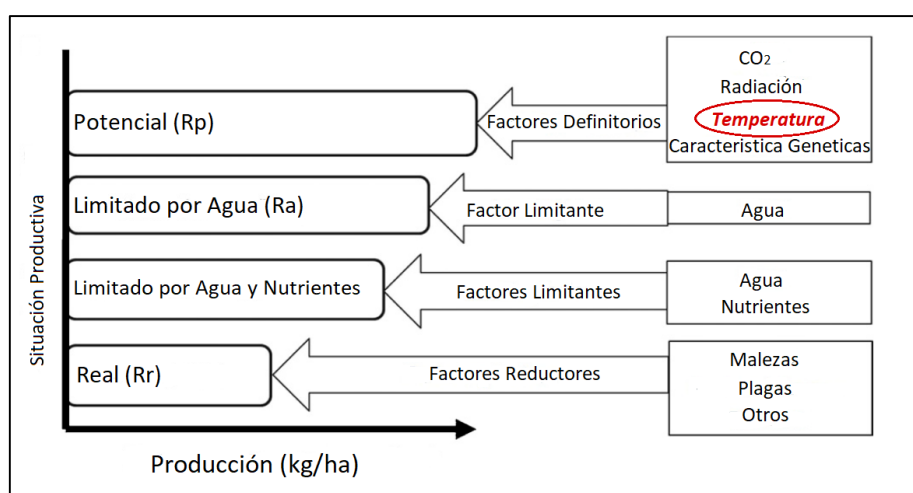
# **CAPITULO 1**

## **El Cultivo de trigo**

## Introducción

El conocimiento de la variabilidad climática, sus causas y consecuencias pueden conducir a mejores decisiones en la agricultura, independientemente de la ubicación geográfica en la que se encuentre (Semenov y Porter 1995). Dentro de las variables que influyen en la obtención del rendimiento de un cultivo agrícola, una de las fuentes de mayor variabilidad es el clima (Meinke y Stone 2005), sobre todo para aquellos casos que se realizan a cielo abierto y en seco, como es el caso del trigo en la Región Pampeana. De esta forma, la mínima probabilidad de ocurrencia de estrés severo en los períodos más críticos, condicionarán el rendimiento que puede obtenerse en un ambiente dado (Slafer y Savin 2011).

El potencial de rendimiento ( $R_p$ ) es el rendimiento de un cultivo sin limitantes de agua ni de nutrientes, y cuando el estrés biótico se controla de manera efectiva. Cuando se cultiva en condiciones que pueden lograr  $R_p$ , la tasa de crecimiento de los cultivos está determinada únicamente por la radiación solar, la **temperatura**, el  $CO_2$  atmosférico y los rasgos genéticos propios de la planta (Figura 1.1). Para las situaciones de sequo, el agua pasa a ser muchas veces una limitante, por lo que el rendimiento potencial pasa a ser rendimiento limitado por agua ( $R_a$ ). De esta forma, la temperatura, junto a la radiación solar, el  $CO_2$  y los rasgos genéticos, forman parte de los llamados factores definatorios del rendimiento potencial de un cultivo, siendo este último específico de la ubicación -dada por el clima principalmente-, y asumiendo que el agua y los nutrientes requeridos pueden agregarse a través del manejo. Este último en algunos casos no es práctico ni rentable, sobre todo cuando se cuenta con limitantes del suelo (Van Ittersum et al. 2013).



**Figura 1.1: Diferentes niveles de producción determinados por factores que definen, limitan y reducen el crecimiento. Para sistemas de riego y sistemas de seco, el rendimiento potencial ( $R_p$ ) y el rendimiento limitado por agua ( $R_a$ ) respectivamente, son los puntos de referencia relevantes para el análisis de la brecha entre el rendimiento posible y el rendimiento real ( $R_r$ ) (Adaptado de Van Ittersum et al., 2013).**

La producción de los principales cereales y oleaginosas en Argentina, se encuentra concentrada especialmente en la Región Pampeana (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y La Pampa) y en las provincias de Entre Ríos y San Luis. Según datos del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación, en esta zona se concentra el 93,74% del trigo producido a nivel nacional.

En el presente trabajo de tesis se propuso realizar un estudio exhaustivo, a escala climática, de la influencia de los extremos de temperatura en los rendimientos de trigo en diferentes sitios de la Región Pampeana ampliada para el período 1980-2009. Para ello se tomaron distintos índices térmicos derivados de datos diarios de temperatura máxima y mínima y datos fenométricos de rendimientos de trigo, suministrados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, para las campañas agrícolas 1980-1981 al 2009-2010.

Considerando todos los antecedentes de estudios realizados en el país y en el exterior sobre el impacto de la temperatura en el rendimiento del trigo, en este trabajo se propuso evaluar, sobre los datos observados de rendimiento y climáticos, cuál es el extremo más significativo para cada localidad, considerando que, más allá de la homogeneidad o heterogeneidad desde el punto de vista agrícola de las estaciones a evaluar, el clima de cada una y en particular la ocurrencia de fenómenos extremos, es distinta.

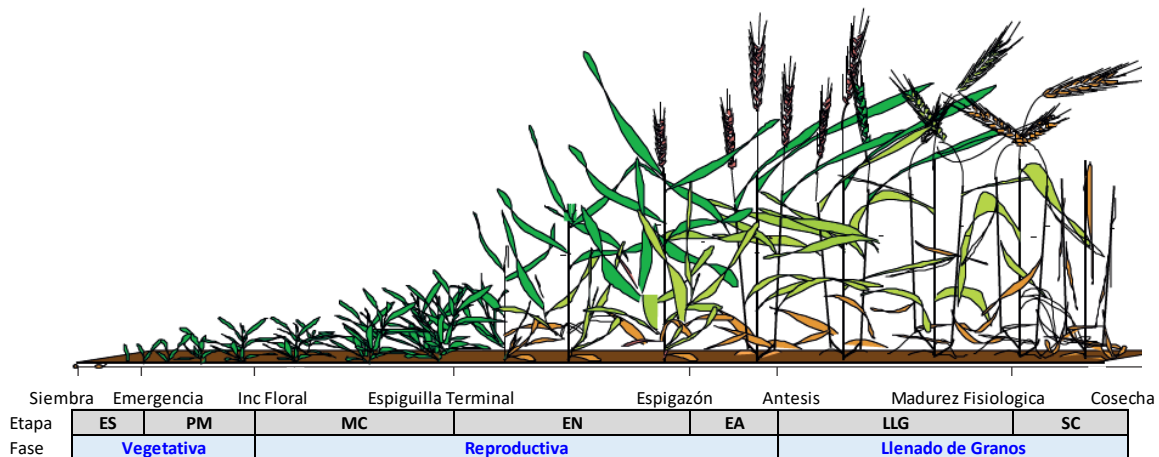
Asimismo, se realizó una climatología de los índices de extremos de temperatura en la Pampa Húmeda ampliada a escala decádica (10 días), se analizó cuáles son los extremos de mayor impacto sobre los rendimientos de trigo en las diferentes localidades analizadas, y se identificaron las décadas en las que existe una mayor asociación entre los índices de temperatura evaluados y los rendimientos.

Los resultados que aquí se presentan, pueden ser utilizados como información de base y de soporte para la toma de decisiones de los productores agropecuarios, a fin de desarrollar u optimizar estrategias de manejo que tiendan a minimizar la influencia de los mencionados extremos climáticos sobre los rendimientos del trigo en la región estudiada.

### **Generalidades sobre la fisiología del trigo y su rendimiento**

El trigo es una planta C3 y como tal prospera en ambientes templados o templados fríos. La diferenciación de órganos define las diversas etapas del trigo. De esta forma podemos encontrar distintos cambios morfológicos a partir de los cuales se distinguen las siguientes etapas de desarrollo: Establecimiento (ES, entre siembra y emergencia), Pre-Macollaje (PM, entre emergencia

e inicio de macollaje), Macollaje (MC, entre inicio de macollaje e inicio de encañazón), Encañazón (EN, entre inicio de encañazón e inicio de espigazón), Espigazón/Antesis (EA, entre inicio de espigazón y fin de antesis), Llenado de grano (LLG, entre fin de antesis y madurez fisiológica), finalizado el LLG, continúa una etapa de secado del grano (SC) (Miralles et al. 2014) (Figura 1.2).



**Figura 1.2: Etapas fenológicas del Trigo (Adaptado de Rawson y Slafer 1994).**

El lapso de cada etapa de desarrollo depende esencialmente del genotipo, de la temperatura (por ej. satisfacción de los requerimientos de horas con temperaturas denominadas vernalizantes) y de la duración del día.

En lo que respecta al rendimiento, es importante considerar aquellos factores que lo determinan. Existen dos aproximaciones complementarias para analizar su determinación: i) acumulación y partición de materia seca y ii) componentes del rendimiento (Slafer y Savin 2011):

i) Tiene en cuenta la captura de energía, estando representada por la ecuación (1) determinada por Monteith (1977):

$$\text{Rendimiento} = \text{DCC} * \text{RFA} * \text{Frfa} * \text{EUR} * \text{IC} \quad (1)$$

Donde DCC es la duración del ciclo del cultivo, RFA es la radiación fotosintéticamente activa diaria incidente, Frfa es la fracción de dicha radiación que es interceptada por el canopeo, EUR es la eficiencia en el uso de la radiación, e IC es el índice de cosecha.

ii) El rendimiento está determinado por el número de granos por área, dado por el número de espigas por área NE, el número de granos por espiga NG y por el peso de grano PG según se muestra en la ecuación (2).

$$\text{Rendimiento} = \text{NE} * \text{NG} * \text{PG} \quad (2)$$

En (1) la temperatura tiene influencia directa sobre distintos componentes de la ecuación, mientras que en (2) dicha influencia se manifiesta de manera indirecta (tal es el caso de la influencia de los golpes de calor o de las heladas sobre el llenado de granos con consecuencia en el peso de granos).

### **Influencia de la Temperatura sobre el cultivo de trigo**

La temperatura en el cultivo de trigo, afecta tanto el crecimiento como el desarrollo de la planta. En todas las etapas del ciclo se observa que a medida que la temperatura aumenta (por encima de una base,  $T_b$ , y hasta una óptima,  $T_o$ ) la tasa de desarrollo se incrementa, reduciendo la duración de las etapas; de esta forma, la temperatura óptima es el punto donde la tasa de desarrollo es máxima. En sentido inverso, menores temperaturas (por debajo de la  $T_b$ ) detienen el desarrollo (Miralles et al 2014). Esto último tiene entonces una influencia directa sobre la duración del ciclo del cultivo (DCC presente en la ecuación 1), y por ende, en el rendimiento. En cuanto al crecimiento, tanto las temperaturas altas como las bajas disminuyen la tasa de producción de materia seca y, para ciertos valores extremos, pueden provocar la cesación de la producción, lo que también influye en el rendimiento (Grace 1988 citado por Porter y Gawith 1999). La tabla 1.1 presenta un exhaustivo análisis de las temperaturas cardinales realizado por Porter y Gawith (1999) en cuanto a las temperaturas base, óptima y máxima en las distintas etapas de desarrollo del cultivo de trigo.

| <b>Etapas</b>    | <b>Base</b> | <b>Optima</b> | <b>Maxima</b> |
|------------------|-------------|---------------|---------------|
| Establecimiento  | 3.5         | 22            | 32.7          |
| Pre-Macollaje    | 0           | 20            | 30            |
| Macollaje        | 3           | 20            |               |
| Encañazón        |             | 20            |               |
| Espigazón        | 3.9         | 24.3          |               |
| Antesis          | 9.5         | 21            | 31            |
| Llenado de grano | 9.2         | 20.7          | 35.4          |

**Tabla 1.1: Temperaturas base, óptima y máxima para distintas etapas fenológicas. Adaptado de Porter y Gawith (1999).**

De la tabla 1.1 se desprende que el cultivo del trigo tiene una temperatura óptima entre los 20 y 25 °C y las temperaturas base se encuentran entre los 0 y 10°C. En cuanto a las temperaturas máximas, las mismas varían entre los 30 y 35 °C. Las temperaturas máximas no solo estarían influyendo en la tasa de desarrollo (que se detiene a estas temperaturas), sino que también influyen fuertemente en el crecimiento, lo que en definitiva se verá reflejado en el rendimiento.

Distintos autores estudiaron el efecto de las temperaturas altas sobre el rendimiento del trigo. Fisher y Maurer (1976) estudiaron la influencia de un aumento de temperatura (entre 2 y 7 °C por encima de la temperatura ambiente, en condiciones de ambiente controlado con alta fertilización e

irrigación) sobre el desarrollo y el rendimiento, desde la etapa de macollaje hasta llenado de grano, encontrando una disminución en ambos parámetros en todas las etapas, si bien estas fueron más afectadas desde encañazón hasta la antesis. Dreccer et al. (2014) sometieron a plantas de trigo desde espiguilla terminal a floración a temperaturas de 28/14 °C (máxima y mínima), encontrando mermas en los rendimientos de un 9% cuando fueron comparadas con otras que crecieron con temperaturas de 20/10°C. Stone et al. (1995) estudiaron la respuesta del trigo a temperaturas muy altas (>32°C, golpes de calor) durante el llenado de grano, encontrado mermas en el rendimiento de un 17% en promedio, pero también encontraron mermas en el rendimiento dentro del rango de temperaturas moderadamente altas (entre 20 y 32°C). De esta forma podemos ver dos rangos de temperaturas con influencia en el rendimiento: i) los denominados **golpes de calor**, que comprende a la temperatura que está por encima de la temperatura máxima, ii) las denominadas **moderadamente cálidas**, que comprende a las temperaturas que se encuentran entre la óptima y la máxima.

En lo que respecta a los efectos que producen las bajas temperaturas sobre el rendimiento, la literatura muestra distintos umbrales críticos. Estos son presentados en la tabla 1.2, en donde se muestra las temperaturas mínimas por debajo de las cuales se producen efectos en el rendimiento, considerando dos horas de exposición.

| Etapa            | Temperatura (Dos horas de exposición) | Efectos en el rendimiento |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| Macollaje        | -11°C                                 | Bajos a Moderados         |
| Encañazon        | -4°C                                  | Moderados a severos       |
| Hoja bandera     | -2°C                                  | Moderados a severos       |
| Espigazon        | -1°C                                  | Severos                   |
| Antesis          | 0°C                                   | Severos                   |
| Llenado de Grano | -2°C                                  | Moderados a severos       |

**Tabla 1.2: Temperaturas mínimas por debajo de las cuales se producen efectos en el rendimiento. Fuente: Freeze Injury on Wheat by Dr. B.E. Warrick & Dr. T.D. Miller. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M.**

De la tabla 1.2 se desprende que la época más crítica, en lo que a temperaturas mínimas se refiere, se encuentra de espigazón hasta llenado de grano. Es importante destacar que la tolerancia depende de los cultivares (los de ciclo largo son mucho más tolerantes que los de ciclo corto) y **de las temperaturas imperantes anteriores a la ocurrencia de estas temperaturas mínimas, que producen en el cultivo cierta aclimatación** (Thomashow 2001). Por ejemplo, la ocurrencia de una misma temperatura mínima tendrá un daño mayor si en la semana previa se registran temperaturas

entre 14 y 15°C que si se tienen temperaturas entre 5 y 6°C.

Asimismo la temperatura tiene un efecto sobre el crecimiento de cultivo. Las temperaturas máximas tienen influencia directa sobre procesos como la fotosíntesis, respiración y transpiración, en tanto que las temperaturas mínimas (mayormente nocturnas), influyen sobre todo en la respiración (Argente Martínez et al. 2017). Ambos extremos térmicos estarían influyendo, por tanto, en la componente EUR (eficiencia en el uso de la radiación) de la ecuación (1). Por otro lado, la temperatura puede tener efectos indirectos ya sea sobre otros componentes bióticos del sistema (malezas y enfermedades por ejemplo) o abióticos (otros tipos de stress).

## **El Cambio climático y el rendimiento de trigo**

En el 5<sup>to</sup> 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.

El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado (IPCC 2014).

El informe de la 21ra Convención Marco sobre el Cambio Climático celebrada en París en el año 2015 (CMCC 2015), se compromete a mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y de proseguir los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1.5 °C con respecto a esos niveles. A partir de dicho informe, Schleussner et al. (2016) realizaron simulaciones basadas en el protocolo ISIMIP FastTrack para llegar a un aumento de 1.5 °C y de 2 °C (señalados en el informe de la CMCC), trabajando además con dos escenarios posibles: con y sin aporte de CO<sub>2</sub>. En el primer caso, a 1.5 °C y con aporte de CO<sub>2</sub>, los rendimientos de trigo para nuestra zona de estudio no presentan grandes diferencias ya que en promedio estima una disminución de -0.2% (con extremos entre -10.8% y 13.9%), que se revierte a un leve aumento de un 1 % a 2.0 °C (con extremos entre -11.9% y 17.4%). Por otro lado **sin tener en cuenta el efecto del cambio en el CO<sub>2</sub> los efectos pasan a ser siempre negativos y**



**mucho más marcados, teniendo una disminución del -13.1% a 1.5 °C (con extremos entre -31.9% y 1%), y -17.8% a 2 °C (con extremos entre -50.7% y -6.1%).**

Otros autores como Asseng et al. (2014) destacan que el calentamiento estaría compensando el aumento del rendimiento producto del avance tecnológico en muchos lugares donde se realiza el cultivo de trigo (en otras palabras, lo que aumenta por avance tecnológico disminuye por el calentamiento global). Mediante simulaciones estiman que la producción mundial de trigo caerá un 6% por cada ° C de más que aumente la temperatura.

Un estudio realizado por Lesk et al. (2016) sobre la influencia de los extremos climáticos sobre los cultivos agrícolas demuestra que las sequías y temperaturas extremas cálidas reducen significativamente la producción de cereales en un 9-10%, mientras que no pudieron identificar un efecto de las inundaciones y el frío extremo sobre el mismo.

La variabilidad de temperaturas superiores a la gama óptima, ha explicado el 21 % de la variabilidad de los rendimientos a escala mundial (Iizumi y Ramankutty 2016). Lo anteriormente señalado **resalta a este tipo de variabilidad por sobre otros tipos de estrés abiótico, tales como la temperatura por debajo de la gama óptima.**

### **Las temperaturas extremas y su influencia sobre los rendimientos de trigo**

Los extremos de temperatura pueden tener consecuencias positivas o negativas sobre los rendimientos (Pascale y Damario 2004). **Las bajas temperaturas (inferiores a cierto umbral), por ejemplo, tienen un doble efecto en las especies anuales invernales de las cuales el trigo forma parte** (Damario y Pascale 2011):

i) Por un lado, en lo que se refiere a la satisfacción de los requerimientos de horas con temperaturas denominadas vernalizantes, cuyo óptimo para el caso del trigo se encuentra entre los 5°C y 10°C en los primeros estadios de su proceso fásico (Miralles et al. 2003). En trigo la adecuada satisfacción de temperaturas vernalizantes, puede tener influencia sobre algunos componentes del rendimiento, como el número de macollos potenciales y producción de espiguillas (Slafer y Rawson 1994, Craigon et al 1995 y Rawson et al 1998). La mayoría de los cultivares sembrados en la Argentina tienen, sin embargo, bajos requerimientos de vernalización (Appendino et al. 2003).

ii) Por otro lado, por el posible daño que pueden causar cuando resultan inferiores al nivel crítico de resistencia del cultivo, que a su vez depende del estado fenológico en el que se encuentra.

Asimismo, las temperaturas influyen en la duración de las distintas etapas fenológicas (Miralles et al. 2003). Esto puede ser beneficioso, si por ejemplo dicho alargamiento produce una mayor cantidad de recursos que el cultivo sea capaz de captar (agua, nutrientes, radiación) (Slafer y Savin 2011), o perjudicial, si esto trae asociado una mayor propensión a enfermedades, especialmente en la etapa siembra emergencia (Hampson y Simpson 1990).

Los estudios locales y extranjeros que analizan el impacto de altas temperaturas máximas y altas temperaturas mínimas muestran, en general, un efecto negativo en el rendimiento. Balla (2009), Calderini et al. (1999), Ugarte et al. (2007) García et al. (2012, 2015), Telfer et al. (2013), Fontana et al (2015) -que utiliza índices térmicos-, son sólo algunos ejemplos. En la literatura se encuentran otros trabajos que coinciden con estos resultados, pero que utilizan simulaciones de rendimiento. Tal es el caso de Magrin et al. (2009), que utilizan esta metodología para evitar considerar los avances tecnológicos. Estos autores encuentran una disminución en los rendimientos del trigo en respuesta a un aumento en las temperaturas mínimas durante el período octubre – noviembre en la región pampeana.

Dado que es conocida la influencia de las temperaturas (incluidas las temperaturas máxima y mínima) sobre el rendimiento de los cultivos, y que actualmente hay un creciente análisis de índices térmicos que están asociados a distintos procesos físicos dentro del sistema climático, se propuso analizar si alguno de los índices de temperatura extrema tienen relación con los rendimientos del trigo, y, cuál sería el que requiere mayor atención para su monitoreo por su posible impacto en los rendimientos.

## **Objetivos del trabajo de tesis**

### **Objetivo principal**

- Cuantificar el efecto de los eventos climáticos extremos de temperatura en los rendimientos de trigo de la Región Pampeana ampliada.

### **Objetivos secundarios**

- Generar una climatología de distintos índices de temperaturas extremas de la Pampa Húmeda ampliada a escala decádica (10 días).
- Definir cuáles de estos extremos climáticos de temperatura pueden actuar como variables determinantes de los rendimientos de trigo en las diferentes localidades de la Región Pampeana Ampliada.

- Identificar décadas de mayor asociación entre los índices de temperatura y los rendimientos, analizando a su vez, diferencias espaciales.

## **Estructura de la tesis**

La tesis está organizada en 7 capítulos. En el capítulo 1 (Introducción general) se describió el contexto y los antecedentes que llevaron a plantear los objetivos de la tesis. El capítulo 2 (Caracterización estadística de las temperaturas extremas) presenta una estadística básica de las temperaturas máximas y mínimas para los meses asociados con el ciclo del cultivo (junio a diciembre), a escala decádica. En el capítulo 3 (Cálculo de índices de extremos climáticos) se calculan los índices extremos para cada estación meteorológica y para cada año por década. En el capítulo 4 (Relación entre los extremos de temperatura y los rendimientos) se analizan los datos de rendimiento de los departamentos al cual pertenece la estación meteorológica sujeta a estudio y se realiza el cálculo de las correlaciones de éstos con los índices de temperatura. Luego se determinan los periodos de mejor correlación y se muestran los resultados espacialmente. Los capítulos 5 (Estadística de diferencias de rendimiento bajo condiciones térmicas extremas opuestas) y 6 (Cuantificación de diferencias de rendimiento bajo condiciones térmicas extremas opuestas) presentan una evaluación de la influencia de las temperaturas extremas en los rendimientos permitiendo a su vez una comparación entre los distintos departamentos estudiados. Por último el capítulo 7 (Consideraciones finales) se resumen los resultados obtenidos en función de los objetivos perseguidos.

# **CAPITULO 2**

## **Caracterización estadística de las temperaturas extremas**

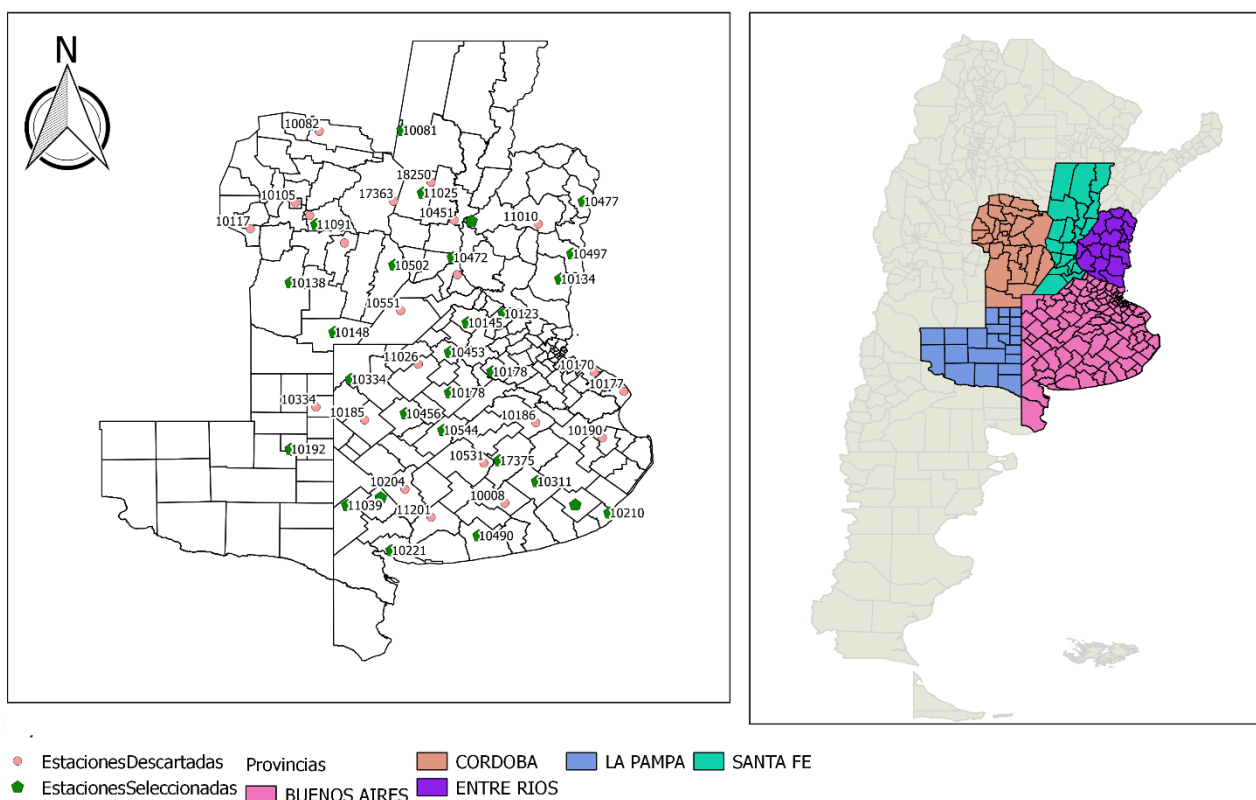
## Introducción

Para la realización de este estudio, se ha trabajado con datos diarios de temperatura máxima (tmax) y mínima (tmin) de 28 estaciones meteorológicas distribuidas en la región centro-oriental de Argentina del período 1980-2009 (figura 2.1).

En todos los casos, los meses del ciclo del cultivo considerados son de junio a diciembre.

Los datos meteorológicos utilizados provienen de tres fuentes principales:

- 1) Servicio Meteorológico Nacional.
- 2) La base de datos del sistema de información y gestión agrometeorológica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).<sup>1</sup>
- 3) La base de datos de la Red Europea Americana para la Evaluación del Cambio Climático y Estudios de Impacto en la Cuenca del Plata.<sup>2</sup>



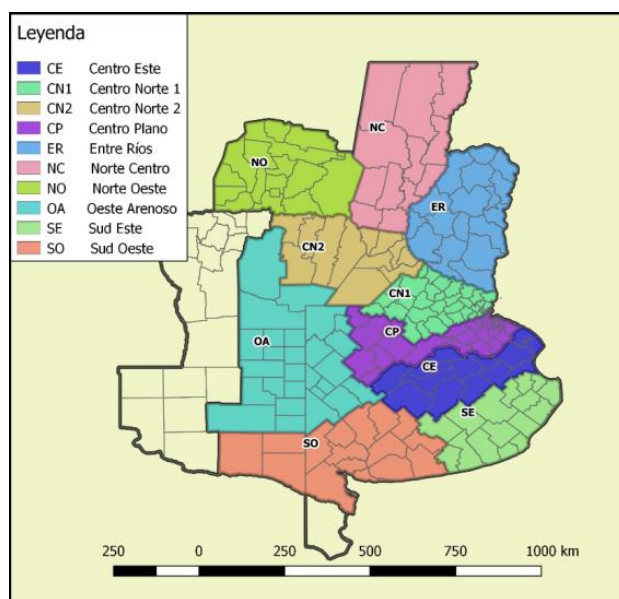
**Figura 2.1: Estaciones analizadas. En verde estaciones seleccionadas para el análisis, por cumplir con la cantidad mínima de datos. En rojo claro estaciones descartadas por no cumplir con la cantidad mínima de datos. Los números (código CLARIS) identifican cada una de las estaciones (ver tabla 2.1).**

<sup>1</sup><http://siga2.inta.gov.ar/>

<sup>2</sup>Penalba, O. C., Rivera, J. A. and Pántano, V. C. (2014), The CLARIS LPB database: constructing a long-term daily hydro-meteorological dataset for La Plata Basin, Southern South America. Geoscience Data Journal. doi: 10.1002/gdj3.7

Siguiendo a Rusticucci y Barrucand (2001), los datos fueron sometidos a un control de alta calidad, descartándose aquellas estaciones que tuvieran un faltante superior al 15%. De las 50 estaciones inicialmente seleccionadas, 28 cumplieron con los requisitos establecidos, mientras que las 22 restantes no fueron tenidas en cuenta en el estudio por no poseer datos suficientes para realizar el análisis. Las estaciones ubicadas en San Luis no fueron tenidas en cuenta dado que, si bien algunas de ellas cumplían el requisito de calidad, no se contaba con datos de rendimiento de todo el periodo analizado.

Las estaciones fueron agrupadas en distintas subregiones, considerando la ubicación geográfica, el tipo de suelo y la precipitación, siguiendo a Miralles et al (2013). Las subregiones definidas son: Norte Central (NC), Entre Ríos (ER), Noroeste (NO), Centro Norte 1 (CN1), Centro Norte 2 (CN2), Centro Plano (CP), Oeste Arenoso (OA), Centro Este (CE), Sudeste (SE) y Sudoeste (SO) (figura 2.2). El detalle de las estaciones meteorológicas consideradas en este estudio es presentado en la tabla 2.1.



**Figura 2.2:** Regiones productoras de trigo en base a variables edáficas climáticas y de relieve. (Adaptado de Miralles et al 2013).

| Zona | Localidad          | Cod. Claris | Latitud | Longitud | Zona | Localidad      | Cod. Claris | Latitud | Longitud |
|------|--------------------|-------------|---------|----------|------|----------------|-------------|---------|----------|
| NC   | Ceres              | 10081       | -29,88  | -61,93   | CP   | Pehuajo        | 10456       | -35,84  | -61,86   |
| NC   | Rafaela            | 11025       | -31,20  | -61,50   | OA   | Rio Cuarto     | 10138       | -33,09  | -64,28   |
| ER   | Concordia          | 10477       | -31,38  | -58,12   | OA   | Laboulaye      | 10148       | -34,13  | -63,36   |
| ER   | Parana             | 10113       | -31,79  | -60,48   | OA   | Gral. Villegas | 10334       | -35,12  | -63,01   |
| ER   | C.Uruguay          | 10497       | -32,48  | -58,36   | OA   | Santa Rosa     | 10192       | -36,59  | -64,28   |
| ER   | Gualeguaychu       | 10134       | -33,01  | -58,61   | CE   | Bolivar        | 10544       | -36,19  | -61,07   |
| NO   | Manfredi           | 11091       | -31,86  | -63,74   | CE   | Azul           | 17375       | -36,83  | -59,89   |
| CN1  | San Pedro          | 10123       | -33,74  | -59,80   | SE   | Tandil         | 10311       | -37,27  | -59,10   |
| CN1  | Pergamino          | 10145       | -33,93  | -60,56   | SE   | Balcarce       | 10209       | -37,76  | -58,30   |
| CN1  | Junin              | 10453       | -34,55  | -60,93   | SE   | Mar Del Plata  | 10210       | -37,93  | -57,58   |
| CN1  | Chivilcoy          | 10178       | -34,96  | -60,04   | SO   | Pigue          | 10206       | -37,61  | -62,39   |
| CN2  | Oliveros           | 10472       | -32,56  | -60,87   | SO   | Bordenave      | 11039       | -37,77  | -63,09   |
| CN2  | Marcos Juarez INTA | 10502       | -32,72  | -62,10   | SO   | Tres Arroyos   | 10490       | -38,41  | -60,33   |
| CP   | 9 de Julio         | 10178       | -35,40  | -60,93   | SO   | Bahia Blanca   | 10221       | -38,72  | -62,16   |

Tabla 2.1: Estaciones utilizadas en el presente estudio y región de pertenencia.

A partir de los datos de tmax y tmin diarias de cada estación meteorológica, se obtuvieron los valores máximos y mínimos absolutos a escala decádica, y los percentiles 10 y 90 de las temperaturas máximas y mínimas, según se detalla en la tabla 2.2. Estos valores se utilizaron en el cálculo de cuatro índices de temperaturas extremas, que serán presentados en el capítulo siguiente.

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| TXP 90 | Percentil 90 de la tmax. |
| TXP 10 | Percentil 10 de la tmax. |
| TNP 90 | Percentil 90 de la tmin. |
| TNP 10 | Percentil 10 de la tmin. |

Tabla 2.2: Definiciones de umbrales de temperatura utilizados en el presente estudio.

A continuación se presentan todos los valores mencionados (temperaturas absolutas, percentiles 10 y 90 de máximas y mínimas por década y por estación meteorológica), junto a los umbrales que la literatura muestra como críticos para el trigo presentados en el capítulo 1.

## Máximas Absolutas

La tabla 2.3 muestra las temperaturas máximas absolutas (TMA) de las distintas décadas analizadas, integrando la información de las temperaturas máximas de cada etapa del cultivo (32.7 °C para establecimiento, 30 °C premacollaje, 31°C antesis y 35.4 °C llenado de grano).

- Las décadas resaltadas en color **rojo** son aquellas que tuvieron TMA superior a la tmax de todas las etapas fenológicas del cultivo.
- Las décadas resaltadas en **marrón** son aquellas que tuvieron TMA superior a la tmax de todas las etapas fenológicas del cultivo, excepto la correspondiente al llenado de granos.
- Las décadas resaltadas en color **naranja** son aquellas que tuvieron TMA superior a la tmax

de todas las etapas fenológicas del cultivo, excepto las correspondientes al llenado de granos y establecimiento.

- Las décadas resaltadas en color **amarillo** son aquellas que tuvieron TMA superior a la tmax de todas las etapas fenológicas del cultivo, excepto las correspondientes al llenado de granos, establecimiento y antesis.
- Las décadas resaltadas en color **verde** son aquellas en las que TMA no superó nunca las tmax de todas las etapas fenológicas.

La información se presenta ordenada por regiones, de manera de poder visualizar zonas y épocas en las que se han superado los umbrales térmicos mencionados en el período analizado.

| Zona | Lat | Long   | Localidad | Jun 1   | Jun 2  | Jun 3 | Jul 1 | Jul 2 | Jul 3 | Ago 1 | Ago 2 | Ago 3 | Set 1 | Set 2 | Set 3 | Oct 1 | Oct 2 | Oct 3 | Nov 1 | Nov 2 | Nov 3 | Dic 1 | Dic 2 | Dic 3 |      |
|------|-----|--------|-----------|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| NC   | 1   | -29.88 | -61.93    | Ceres   | 31.2   | 30.6  | 30.5  | 32.0  | 33.8  | 34.7  | 34.0  | 35.0  | 38.4  | 39.0  | 39.4  | 37.4  | 38.2  | 37.0  | 41.8  | 41.8  | 42.2  | 42.0  | 40.6  | 40.6  | 40.4 |
| NC   | 1   | -31.20 | -61.50    | Rafaela   | 29.7   | 29.1  | 29.9  | 31.3  | 32.4  | 31.8  | 33.1  | 34.6  | 37.2  | 37.9  | 39.0  | 36.2  | 38.0  | 36.9  | 41.7  | 38.8  | 39.0  | 39.1  | 39.2  | 38.8  | 39.2 |
| ER   | 2   | -31.38 | -58.12    | Concordia   | 29.8   | 30.0  | 29.5  | 29.2  | 29.5  | 31.5  | 31.0  | 33.8  | 35.7  | 37.6  | 36.7  | 37.0  | 36.2  | 37.2  | 38.5  | 38.3  | 38.2  | 39.2  | 40.0  | 40.0  | 40.2 |
| ER   | 2   | -31.79 | -60.48    | Parana  | 29.0   | 27.2  | 26.0  | 29.3  | 30.5  | 29.8  | 32.0  | 31.3  | 33.9  | 36.6  | 36.7  | 36.3  | 35.0  | 34.5  | 36.9  | 35.0  | 35.8  | 36.2  | 38.5  | 37.5  | 37.8 |
| ER   | 2   | -32.48 | -58.36    | C. Uruguay  | 27.9   | 27.5  | 27.4  | 29.0  | 29.0  | 30.8  | 31.5  | 31.9  | 33.6  | 33.9  | 34.7  | 36.8  | 35.1  | 35.1  | 37.9  | 37.1  | 36.5  | 37.6  | 36.7  | 38.9  | 40.4 |
| ER   | 2   | -33.01 | -58.61    | Gualeguaychu  | 28.4   | 28.4  | 27.5  | 30.9  | 29.6  | 31.3  | 31.5  | 31.9  | 35.2  | 34.5  | 36.4  | 36.7  | 33.0  | 36.0  | 36.7  | 36.8  | 37.5  | 38.5  | 39.3  | 39.8  | 40.7 |
| NO   | 3   | -31.86 | -63.74    | Manfredi  | 30.2   | 27.4  | 33.2  | 28.3  | 30.4  | 32.4  | 32.2  | 34.0  | 36.7  | 40.2  | 36.2  | 35.6  | 40.6  | 37.5  | 41.6  | 40.0  | 39.5  | 40.0  | 40.7  | 39.0  | 40.0 |
| CN1  | 4   | -33.74 | -59.80    | SanPedro  | 27.7   | 25.8  | 25.9  | 28.8  | 30.6  | 27.6  | 30.1  | 30.3  | 34.0  | 33.3  | 34.8  | 31.4  | 32.3  | 33.3  | 35.2  | 34.9  | 34.9  | 38.7  | 37.9  | 40.6  | 38.7 |
| CN1  | 4   | -33.93 | -60.56    | Pergamino   | 26.3   | 27.4  | 27.8  | 26.7  | 31.3  | 30.6  | 29.9  | 30.8  | 35.2  | 35.4  | 36.5  | 33.0  | 33.4  | 34.3  | 37.2  | 36.1  | 36.3  | 39.0  | 39.5  | 39.9  | 40.3 |
| CN1  | 4   | -34.55 | -60.93    | Junin   | 24.8   | 25.7  | 27.2  | 26.3  | 30.8  | 28.7  | 28.4  | 29.3  | 35.3  | 35.1  | 32.6  | 31.5  | 35.6  | 33.1  | 37.3  | 36.4  | 34.5  | 38.5  | 39.8  | 41.3  | 38.7 |
| CN1  | 4   | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy   | 23.6   | 24.7  | 26.4  | 24.2  | 28.4  | 27.1  | 26.4  | 27.4  | 35.3  | 32.6  | 31.8  | 30.1  | 35.3  | 32.8  | 38.1  | 36.0  | 34.5  | 37.2  | 38.4  | 41.8  | 39.8 |
| CN2  | 5   | -32.56 | -60.87    | Oliveros  | 29.0   | 27.8  | 26.6  | 32.1  | 31.5  | 30.7  | 31.5  | 32.8  | 37.7  | 38.8  | 37.0  | 32.6  | 35.1  | 35.1  | 40.7  | 37.1  | 38.7  | 38.3  | 39.5  | 39.8  | 39.0 |
| CN2  | 5   | -32.72 | -62.10    | MarcosJuarez  | 27.3   | 28.2  | 29.5  | 29.0  | 31.0  | 31.6  | 31.8  | 31.8  | 36.2  | 34.9  | 35.0  | 33.0  | 38.2  | 36.8  | 38.4  | 37.8  | 40.1  | 40.0  | 39.8  | 39.5  | 39.7 |
| CP   | 6   | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio  | 23.6   | 22.5  | 26.4  | 24.2  | 28.4  | 26.6  | 26.2  | 27.4  | 35.3  | 32.6  | 29.1  | 30.0  | 35.3  | 32.8  | 38.1  | 36.0  | 34.5  | 37.2  | 38.4  | 41.8  | 39.8 |
| CP   | 6   | -35.84 | -61.86    | Pehuajo   | 23.0   | 23.4  | 24.2  | 24.3  | 27.7  | 25.6  | 26.1  | 28.6  | 36.0  | 29.9  | 29.8  | 29.6  | 34.1  | 32.0  | 40.0  | 34.2  | 34.6  | 35.7  | 36.8  | 38.6  | 38.4 |
| OA   | 7   | -33.09 | -64.28    | RioCuarto   | 25.7   | 26.4  | 26.6  | 27.7  | 31.3  | 32.4  | 28.8  | 31.6  | 37.0  | 37.6  | 36.4  | 32.4  | 37.2  | 37.5  | 41.2  | 39.0  | 35.9  | 40.0  | 38.1  | 38.2  | 39.8 |
| OA   | 7   | -34.13 | -63.36    | Laboulaye   | 24.7   | 26.5  | 25.0  | 27.5  | 30.0  | 33.0  | 26.9  | 30.5  | 36.1  | 34.6  | 34.6  | 33.5  | 37.3  | 35.1  | 41.7  | 38.4  | 37.6  | 40.4  | 40.6  | 42.0  | 40.3 |
| OA   | 7   | -35.12 | -63.01    | GralVillegas  | 25.0   | 22.9  | 23.5  | 27.2  | 27.2  | 26.5  | 26.2  | 29.8  | 35.6  | 31.1  | 34.0  | 31.5  | 32.6  | 35.3  | 41.3  | 36.2  | 38.1  | 38.2  | 40.1  | 43.0  | 40.0 |
| OA   | 7   | -36.59 | -64.28    | SantaRosa   | 25.7   | 22.5  | 25.9  | 26.2  | 26.7  | 26.0  | 26.3  | 28.7  | 32.9  | 30.0  | 31.7  | 32.9  | 32.4  | 35.0  | 36.0  | 36.3  | 37.7  | 39.1  | 40.9  | 40.5  | 41.2 |
| CE   | 8   | -36.19 | -61.07    | Bolivar   | 21.6   | 23.2  | 21.2  | 22.0  | 27.0  | 24.9  | 25.5  | 26.5  | 35.4  | 31.4  | 29.7  | 29.0  | 29.2  | 31.5  | 38.5  | 33.5  | 32.8  | 36.6  | 36.8  | 38.0  | 39.4 |
| CE   | 8   | -36.83 | -59.89    | Azul  | 22.0   | 21.4  | 21.0  | 21.4  | 24.7  | 24.3  | 23.2  | 26.6  | 33.0  | 30.4  | 28.6  | 27.0  | 30.0  | 30.4  | 33.3  | 32.4  | 33.0  | 35.5  | 35.0  | 35.8  | 37.2 |
| SE   | 9   | -37.27 | -59.10    | Tandil  | 22.0   | 20.2  | 23.0  | 20.2  | 23.7  | 23.0  | 22.0  | 25.5  | 31.2  | 30.0  | 28.4  | 25.6  | 30.0  | 30.1  | 31.3  | 30.6  | 32.0  | 34.2  | 34.2  | 34.3  | 35.6 |
| SE   | 9   | -37.76 | -58.30    | Balcarce  | 21.0   | 21.2  | 21.9  | 22.6  | 23.2  | 23.5  | 23.5  | 24.7  | 30.1  | 29.7  | 27.5  | 25.6  | 30.0  | 31.5  | 31.9  | 30.6  | 32.1  | 34.0  | 36.6  | 35.6  | 37.2 |
| SE   | 9   | -37.93 | -57.58    | MarDelPlata   | 22.3   | 22.6  | 21.4  | 23.9  | 22.9  | 23.5  | 24.0  | 25.0  | 28.2  | 30.1  | 28.8  | 26.1  | 30.0  | 31.0  | 34.4  | 31.8  | 32.0  | 35.7  | 37.2  | 35.0  | 38.3 |
| SO   | 10  | -37.61 | -62.39    | Pigue   | 22.0   | 21.2  | 24.0  | 20.2  | 23.7  | 22.8  | 21.7  | 25.0  | 31.2  | 27.0  | 26.5  | 26.8  | 28.3  | 31.6  | 31.3  | 32.0  | 31.5  | 34.5  | 37.2  | 36.6  | 38.0 |
| SO   | 10  | -37.77 | -63.09    | Bordenave   | 26.4   | 21.0  | 22.7  | 25.0  | 26.8  | 24.2  | 24.5  | 26.2  | 31.2  | 29.6  | 28.9  | 28.9  | 29.5  | 31.8  | 34.6  | 34.5  | 36.0  | 36.0  | 39.8  | 38.5  | 40.7 |
| SO   | 10  | -38.41 | -60.33    | TresArroyos   | 22.7   | 21.8  | 22.2  | 22.0  | 23.0  | 24.0  | 25.8  | 25.4  | 29.0  | 28.5  | 27.6  | 28.2  | 28.4  | 31.2  | 32.2  | 34.1  | 35.0  | 36.5  | 37.5  | 39.4  | 37.5 |
| SO   | 10  | -38.72 | -62.16    | BahiaBlanca   | 27.1   | 22.6  | 27.8  | 23.2  | 27.0  | 25.8  | 26.0  | 28.2  | 32.5  | 29.6  | 30.0  | 30.6  | 31.1  | 34.5  | 34.4  | 35.8  | 37.5  | 37.8  | 39.3  | 38.0  | 40.0 |
|      |     |        |           | Afecta todas las etapas del cultivo   | Afecta todas las etapas del cultivo excepto llenado de grano |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |     |        |           | Afecta todas las etapas del cultivo excepto llenado de grano y establecimiento          |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |     |        |           | Afecta todas las etapas del cultivo excepto llenado de grano, establecimiento y Antesis |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |     |        |           | No Afecta ninguna etapa.  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

Tabla 2.3: Máximas Absolutas para el periodo analizado 1980 - 2009.

Los valores más bajos de estas máximas absolutas se registraron en el sureste de la zona analizada. Las más altas, se manifestaron en el norte centro u oeste de la Región. La mayoría de las estaciones presentan valores de temperatura máxima absoluta superiores a la temperatura máxima del cultivo (para cualquier etapa fenológica) en tres o más décadas. En la tercera década de Agosto (Figura 2.2) un tercio de las estaciones presentaron temperaturas que afectaron cualquier etapa del cultivo. Solamente 3 estaciones (en el sur de la provincia de Buenos Aires) estuvieron exentas de la ocurrencia de temperatura críticas. En las décadas subsiguientes, el número de estaciones



con temperaturas máximas absolutas superiores a los umbrales críticos aumenta.

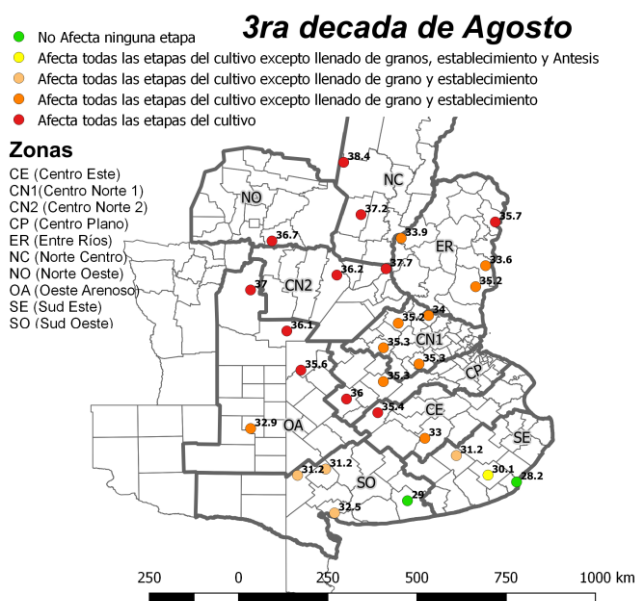


Figura 2.2. Máximas Absolutas de la tercera década de Agosto para el periodo 1980 – 2009.

## Mínimas Absolutas

La tabla 2.4 muestra las temperaturas mínimas absolutas (TNA) de las distintas décadas analizadas e integra información sobre las  $t_{min}$  mencionadas en la tabla 1.2, que son aquellas que tienen efectos adversos sobre el crecimiento/supervivencia de las estructuras del cultivo ( $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  Macollaje,  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  Encañazon,  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  Hoja Bandera,  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  Espigazón,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  Antesis y  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  Llenado de Grano). También se señalan las heladas agrometeorológicas, que aquí se definen con un umbral de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este criterio considera que la  $t_{min} \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  medida en abrigo meteorológico a 1.5 m de altura, en promedio equivale a una temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  o inferior en superficie.

En términos generales, se observa que los valores más bajos de las  $t_{min}$  absolutas se registraron en localidades ubicadas al sur y al oeste. Mientras que las más altas se manifestaron en el norte o este.



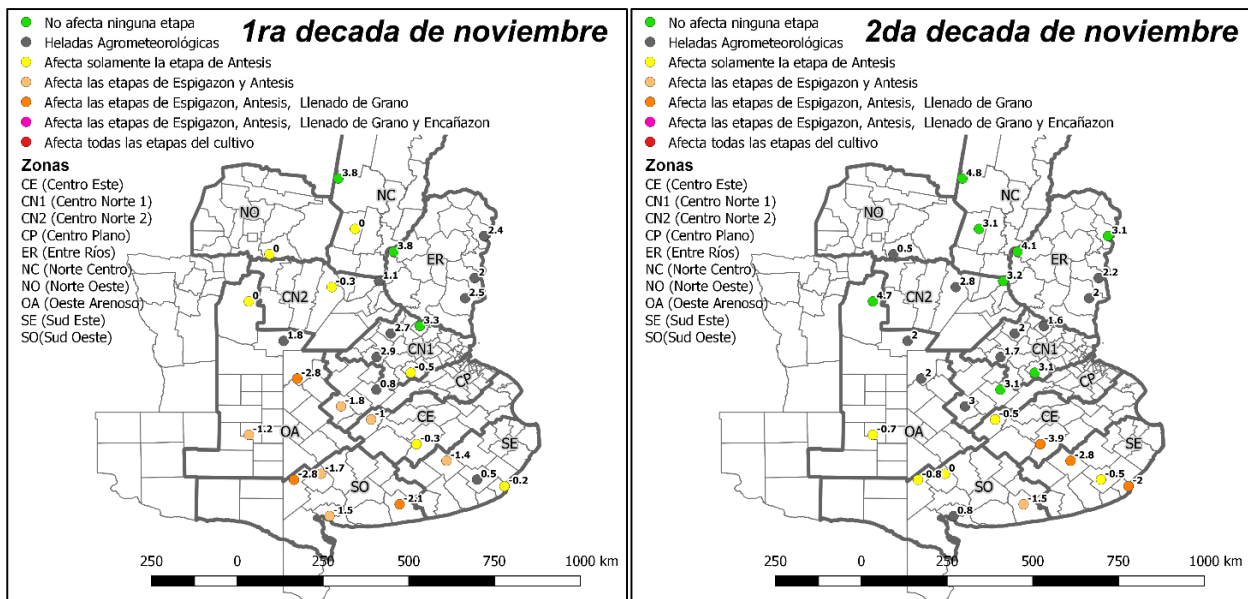


Figura 2.3. Mínimas Absolutas de la 1<sup>ra</sup> y 2<sup>da</sup> década de Noviembre para el periodo 1980 – 2009.

## Máximas y Mínimas extremas definidas por umbrales

### TNP10

Este índice representa el percentil 10 de la  $t_{min}$ . Fue calculado para cada década del ciclo del cultivo para el período 1980-2009 (tabla 2.5). La probabilidad de ocurrencia de una  $t_{min}$  inferior a las mencionadas en la tabla 2.5 es del 10%. Al igual que lo mostrado en la tabla 2.4, la climatología aquí presentada es integrada con las  $t_{min}$  que tienen efectos adversos sobre el crecimiento/supervivencia de las estructuras del cultivo correspondiente a cada etapa fenológica.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1  | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2                                       | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 | Dic_2 | Dic_3 |      |
|------|------|--------|-----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres  | 1.2   | 1.0   | 0.0   | 0.2   | -0.8  | -0.6  | 0.0   | 1.6   | 2.0   | 2.0   | 3.2   | 4.8   | 6.6   | 8.2   | 9.5   | 10.0  | 10.6  | 12.7  | 12.8  | 14.4  | 14.6 |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela  | 1.0   | 0.9   | 0.2   | -0.8  | -1.0  | -0.9  | -0.1  | 1.0   | 2.0   | 1.2   | 2.1   | 4.0   | 5.8   | 7.6   | 8.0   | 9.0   | 10.0  | 12.0  | 12.0  | 13.2  | 14.3 |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia  | 1.3   | 1.0   | 0.0   | 0.3   | -0.5  | -0.5  | 0.9   | 2.1   | 2.4   | 2.3   | 3.4   | 5.0   | 6.0   | 8.2   | 9.0   | 9.9   | 10.4  | 11.9  | 12.5  | 13.2  | 14.3 |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana   | 3.0   | 2.5   | 2.1   | 1.0   | 1.0   | 0.9   | 2.0   | 2.6   | 3.5   | 3.3   | 4.0   | 6.1   | 7.2   | 8.3   | 9.2   | 10.2  | 11.0  | 12.3  | 12.4  | 14.3  | 15.1 |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay  | 1.0   | 0.6   | 0.1   | 0.3   | -0.6  | -0.9  | 0.3   | 2.1   | 2.5   | 2.4   | 2.9   | 4.3   | 6.2   | 7.0   | 7.8   | 9.3   | 9.9   | 11.3  | 11.6  | 12.9  | 14.0 |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualeduaychu   | 0.6   | 0.8   | -0.6  | -0.3  | -0.8  | -0.8  | 0.5   | 1.5   | 2.7   | 2.3   | 3.0   | 4.3   | 6.0   | 7.4   | 7.9   | 9.0   | 9.6   | 12.0  | 11.5  | 12.9  | 14.2 |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi   | -2.8  | -3.4  | -3.8  | -3.9  | -5.0  | -5.0  | -4.6  | -3.5  | -2.5  | -1.8  | -1.2  | 1.7   | 3.2   | 4.4   | 7.0   | 6.6   | 8.1   | 11.2  | 10.7  | 12.5  | 12.6 |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro  | 1.2   | 0.4   | 0.3   | -0.2  | -0.8  | -0.4  | -0.3  | 1.3   | 2.0   | 1.6   | 2.4   | 4.0   | 5.6   | 7.0   | 7.6   | 8.8   | 9.3   | 11.3  | 11.1  | 12.7  | 13.9 |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino  | -0.2  | -0.9  | -1.1  | -1.8  | -1.8  | -1.9  | -1.5  | -0.7  | 0.2   | 0.2   | 0.6   | 3.1   | 4.5   | 6.2   | 6.6   | 7.7   | 8.6   | 10.2  | 9.9   | 11.6  | 12.8 |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin  | -1.1  | -1.4  | -2.0  | -2.2  | -2.3  | -2.3  | -2.1  | -0.5  | 0.3   | 0.4   | 0.6   | 2.4   | 4.2   | 5.8   | 6.2   | 6.8   | 7.9   | 10.0  | 9.4   | 11.4  | 12.0 |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy  | -0.4  | -0.3  | -1.0  | -1.7  | -2.0  | -1.5  | -0.8  | -0.3  | 1.4   | 1.2   | 2.0   | 3.0   | 4.6   | 6.3   | 6.3   | 7.2   | 7.6   | 9.8   | 9.5   | 11.4  | 11.8 |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros   | 0.4   | -0.2  | -0.2  | -0.9  | -1.5  | -1.1  | -0.6  | 0.4   | 1.6   | 1.3   | 2.1   | 3.9   | 5.7   | 7.2   | 7.9   | 9.4   | 10.1  | 12.0  | 12.0  | 13.7  | 14.5 |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez  | 0.2   | -0.3  | -1.0  | -1.4  | -1.6  | -2.0  | -1.0  | 0.2   | 1.3   | 0.6   | 1.4   | 3.6   | 5.5   | 7.2   | 8.2   | 8.3   | 9.9   | 11.8  | 11.8  | 13.6  | 14.3 |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio   | -0.4  | -0.2  | -1.0  | -1.8  | -1.9  | -1.5  | -1.0  | 0.4   | 1.4   | 1.2   | 1.9   | 3.0   | 4.6   | 6.0   | 6.2   | 7.0   | 8.0   | 9.6   | 9.5   | 11.0  | 12.1 |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo  | -1.5  | -1.1  | -1.9  | -2.3  | -3.2  | -2.2  | -2.2  | -1.5  | 0.0   | -0.2  | 0.2   | 2.4   | 4.2   | 5.2   | 5.8   | 6.4   | 7.2   | 9.5   | 8.7   | 10.9  | 11.5 |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto   | 1.2   | 0.5   | 0.0   | -0.8  | -0.8  | -0.1  | 0.0   | 1.1   | 2.1   | 2.3   | 3.0   | 4.4   | 6.1   | 7.3   | 7.9   | 8.6   | 9.9   | 12.0  | 12.0  | 13.4  | 13.4 |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye  | -1.4  | -1.8  | -2.3  | -2.7  | -3.2  | -3.1  | -3.2  | -1.8  | -0.2  | -0.4  | 0.7   | 2.0   | 4.1   | 5.8   | 6.0   | 6.6   | 8.6   | 10.0  | 10.2  | 11.9  | 12.3 |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | Gral Villegas  | -1.3  | -1.8  | -2.7  | -2.2  | -3.0  | -3.5  | -2.6  | -1.5  | -0.6  | -0.4  | 0.8   | 2.2   | 4.2   | 5.2   | 6.2   | 7.2   | 8.4   | 9.7   | 9.6   | 11.2  | 12.6 |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa   | -2.2  | -2.0  | -2.4  | -2.8  | -4.0  | -3.3  | -2.0  | -0.9  | -0.6  | -0.1  | 1.6   | 3.5   | 4.9   | 5.2   | 6.2   | 7.2   | 9.0   | 9.2   | 10.8  | 12.0  |      |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar  | -1.3  | -1.5  | -2.3  | -2.8  | -3.1  | -3.0  | -2.8  | -1.7  | -0.1  | 0.5   | -0.2  | 1.3   | 3.5   | 5.0   | 5.5   | 6.0   | 6.7   | 8.0   | 7.5   | 9.5   | 11.0 |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul   | -3.0  | -2.6  | -3.3  | -3.3  | -4.1  | -3.8  | -3.7  | -2.0  | -2.5  | -1.4  | -1.6  | -0.1  | 1.4   | 2.9   | 2.7   | 3.9   | 4.5   | 6.4   | 5.5   | 7.4   | 8.6  |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil   | -2.3  | -3.0  | -2.8  | -3.6  | -4.1  | -3.6  | -3.6  | -2.4  | -2.2  | -1.6  | -1.5  | -0.2  | 1.3   | 2.6   | 2.3   | 2.9   | 4.3   | 5.8   | 5.2   | 6.7   | 8.0  |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce   | 0.0   | -0.7  | -0.8  | -1.0  | -1.4  | -1.5  | -1.1  | -0.3  | 0.0   | 0.3   | 0.1   | 0.9   | 2.5   | 3.4   | 3.3   | 3.9   | 4.6   | 6.5   | 6.0   | 7.0   | 8.0  |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata   | -0.9  | -1.3  | -1.6  | -1.8  | -1.9  | -2.0  | -1.8  | -0.6  | -1.0  | -0.5  | 0.0   | 0.3   | 1.6   | 2.6   | 2.5   | 4.0   | 4.5   | 5.2   | 5.8   | 6.4   | 8.3  |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue  | -2.4  | -2.3  | -3.2  | -2.9  | -3.2  | -4.0  | -3.2  | -1.8  | -1.0  | -1.7  | -1.3  | 0.3   | 2.0   | 3.0   | 3.8   | 4.5   | 5.2   | 6.9   | 8.0   | 8.8   | 10.2 |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave  | -2.4  | -3.1  | -3.0  | -2.7  | -3.7  | -3.3  | -3.2  | -1.5  | -1.5  | -1.2  | -1.4  | 1.0   | 2.0   | 3.0   | 3.0   | 4.1   | 5.5   | 7.0   | 6.4   | 8.0   | 10.0 |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos   | -1.9  | -2.5  | -3.0  | -3.1  | -3.0  | -3.6  | -3.4  | -1.8  | -2.3  | -1.6  | -1.9  | 0.2   | 0.7   | 2.2   | 1.1   | 2.6   | 3.8   | 5.2   | 5.2   | 6.6   | 7.6  |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca   | -2.0  | -3.0  | -2.5  | -3.5  | -2.8  | -3.2  | -2.8  | -1.6  | -1.4  | -1.2  | -1.2  | 0.9   | 2.0   | 3.3   | 3.9   | 4.7   | 5.0   | 7.5   | 8.2   | 8.8   | 11.0 |
|      |      |        |           | No Afecta ninguna etapa.   |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Heladas Agrometeorologica                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |      |        |           | Afecta solamente a la etapa de Antesis.  |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Afecta a las etapas de Espigazon y Antesis. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |      |        |           | Afecta las etapas de Hoja bandera, Espigazon, Antesis y Llenado de grano.            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |      |        |           | Afecta las etapas de Hoja bandera, Espigazon, Antesis, Llenado de grano y Encañazon. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |      |        |           | Afecta todas las etapas del cultivo.   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

Tabla 2 5: Percentil 10 de tmin.

El valor más bajo de TNP10 en la zona analizada corresponde a la localidad de **Manfredi** (-5 °C para la segunda y la tercera década de julio), y el valor máximo se encuentra en la localidad de **Paraná** (15.1 °C en la tercera década de diciembre).

Si bien en la primera década de setiembre gran parte de las estaciones presenta valores de TNP10 inferiores a la temperatura de heladas agrometeorológicas, estas se reducen sensiblemente en la tercera década de este mes. **Solo unas pocas estaciones ubicadas en las regiones centro este, sudoeste y sudeste, presentan durante octubre (y en algunos casos 1ra década de noviembre), valores de TNP10 inferiores a la temperatura de helada agrometeorológica (figura 2.4).** Las estaciones que cumplen con estas características son las de la región sur (**Azul, Tandil, Tres Arroyos, Bordenave, Pigue, Mar del Plata**). A partir de la segunda década de noviembre el valor de TNP10 está en todas las estaciones por encima de los valores de heladas agrometeorológicas.

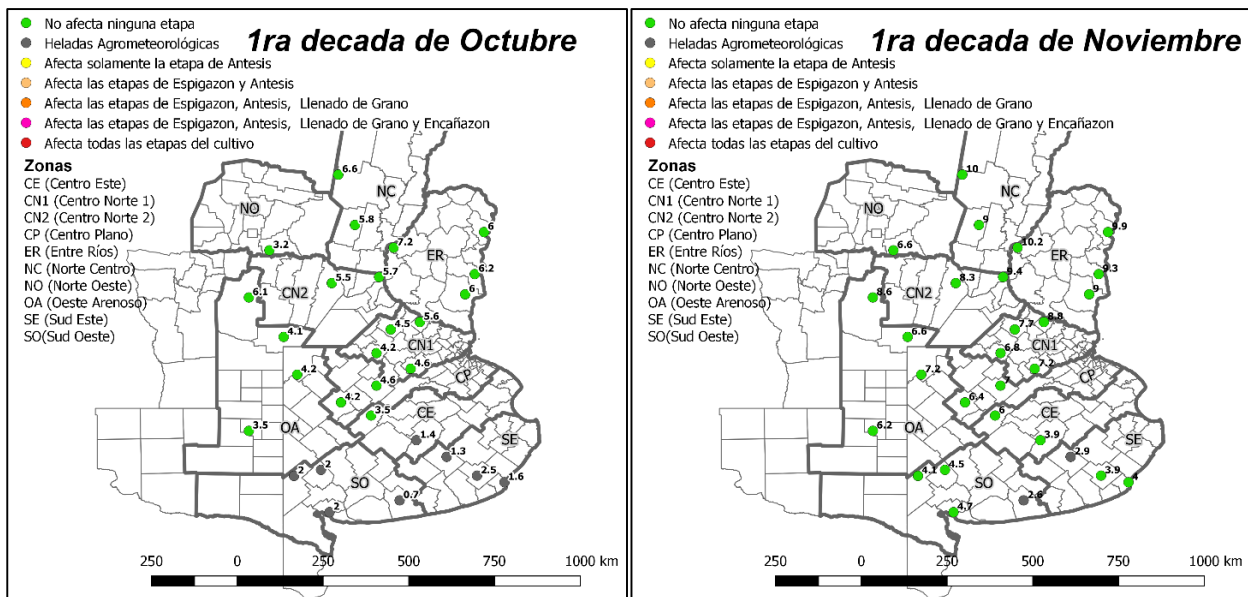


Figura 2.4. Percentil 10 de la tmin de la 1<sup>ra</sup> década de octubre y la 2<sup>da</sup> década de noviembre para el periodo 1980 – 2009.

### TXP10

En la tabla 2.6 se presenta el percentil 10 de la tmax (TX) en cada década estudiada. La frecuencia de tmax inferiores a estos umbrales es del 10%. Los mismos son considerados para la determinación de un índice que representa la frecuencia de días fríos.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 | Dic_2 | Dic_3 |      |
|------|------|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres         | 14.6  | 12.5  | 12.8  | 12.0  | 12.2  | 12.8  | 13.4  | 14.8  | 15.8  | 15.8  | 16.6  | 18.0  | 20.3  | 21.3  | 21.0  | 22.0  | 24.0  | 24.4  | 26.0  | 26.4  | 26.3 |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | 13.5  | 11.5  | 11.9  | 10.8  | 11.2  | 11.6  | 12.8  | 13.1  | 14.9  | 15.4  | 15.2  | 17.0  | 19.1  | 20.2  | 20.0  | 21.1  | 22.7  | 24.1  | 24.7  | 25.1  | 25.4 |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia     | 13.4  | 12.3  | 12.5  | 11.4  | 11.8  | 12.5  | 13.0  | 14.0  | 14.9  | 15.8  | 15.5  | 16.8  | 18.7  | 20.3  | 20.4  | 21.0  | 22.9  | 24.5  | 25.4  | 25.8  | 26.0 |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana        | 13.0  | 11.0  | 11.5  | 10.2  | 11.1  | 10.9  | 12.6  | 13.0  | 14.1  | 14.6  | 15.0  | 16.2  | 17.9  | 19.0  | 20.0  | 20.6  | 21.5  | 23.0  | 24.1  | 25.4  | 25.0 |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay     | 13.0  | 12.3  | 11.7  | 11.4  | 11.3  | 11.8  | 12.8  | 13.3  | 14.4  | 15.1  | 15.0  | 16.6  | 18.3  | 19.2  | 19.9  | 20.3  | 22.0  | 23.4  | 24.2  | 25.1  | 25.3 |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualedguaychu | 12.9  | 12.0  | 11.9  | 11.0  | 10.9  | 11.4  | 12.6  | 13.3  | 14.3  | 15.0  | 15.0  | 16.0  | 18.3  | 19.0  | 19.5  | 20.3  | 21.5  | 23.1  | 24.0  | 25.4  | 26.0 |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | 12.8  | 10.5  | 11.7  | 10.2  | 10.5  | 11.0  | 12.0  | 12.5  | 13.5  | 14.6  | 15.0  | 16.2  | 18.0  | 18.5  | 19.0  | 20.3  | 21.1  | 22.9  | 23.7  | 24.5  | 24.5 |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | 12.2  | 11.3  | 11.2  | 10.1  | 10.2  | 10.7  | 11.5  | 12.3  | 13.4  | 14.2  | 14.1  | 15.7  | 17.2  | 18.1  | 18.8  | 19.7  | 20.9  | 22.0  | 23.6  | 24.5  | 24.9 |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | 12.3  | 11.3  | 11.1  | 9.7   | 10.1  | 10.5  | 11.7  | 12.2  | 13.3  | 14.5  | 13.9  | 15.2  | 17.0  | 17.8  | 18.2  | 19.2  | 20.7  | 22.1  | 23.5  | 24.5  | 25.2 |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin         | 11.5  | 10.8  | 10.8  | 9.6   | 9.8   | 10.2  | 11.5  | 12.4  | 12.8  | 14.4  | 13.2  | 15.0  | 16.6  | 17.2  | 18.0  | 18.6  | 20.4  | 21.9  | 22.6  | 24.0  | 24.5 |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | 11.3  | 10.8  | 10.2  | 9.4   | 9.7   | 10.2  | 11.2  | 11.5  | 12.5  | 14.1  | 13.2  | 15.1  | 16.6  | 17.8  | 18.2  | 18.8  | 20.7  | 22.2  | 22.8  | 24.1  | 25.2 |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | 13.0  | 11.8  | 11.7  | 10.9  | 10.7  | 11.5  | 12.5  | 13.2  | 14.7  | 15.5  | 14.8  | 16.0  | 18.8  | 19.2  | 19.5  | 20.6  | 21.9  | 23.3  | 24.2  | 25.1  | 25.5 |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez | 12.8  | 11.6  | 11.6  | 10.6  | 10.5  | 11.0  | 12.2  | 12.8  | 14.5  | 15.0  | 14.5  | 16.2  | 18.2  | 19.4  | 19.5  | 21.0  | 21.9  | 23.7  | 24.0  | 24.6  | 25.2 |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | 11.2  | 10.7  | 10.2  | 9.0   | 9.5   | 10.0  | 11.1  | 11.5  | 12.1  | 14.0  | 12.9  | 14.7  | 16.3  | 16.1  | 17.8  | 18.0  | 20.5  | 20.2  | 22.8  | 24.0  | 25.0 |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | 10.8  | 9.6   | 9.6   | 9.4   | 9.1   | 10.0  | 10.5  | 11.0  | 11.7  | 13.1  | 12.3  | 14.4  | 15.9  | 17.1  | 18.0  | 18.0  | 20.2  | 21.6  | 22.3  | 23.3  | 24.6 |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | 11.2  | 9.3   | 10.8  | 9.2   | 9.0   | 9.6   | 10.7  | 11.4  | 11.8  | 12.9  | 12.6  | 14.6  | 16.4  | 18.2  | 17.6  | 18.7  | 20.0  | 21.8  | 22.4  | 22.8  | 23.7 |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | 11.5  | 10.6  | 11.3  | 9.5   | 10.2  | 10.7  | 11.8  | 12.2  | 12.6  | 14.0  | 13.6  | 15.6  | 17.0  | 18.3  | 18.3  | 19.1  | 21.1  | 23.0  | 23.2  | 24.2  | 25.2 |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | GralVillegas  | 11.1  | 9.8   | 10.3  | 9.2   | 9.6   | 10.1  | 11.2  | 11.2  | 12.4  | 14.0  | 13.2  | 15.6  | 16.6  | 17.8  | 18.8  | 19.2  | 21.2  | 22.9  | 22.8  | 24.6  | 25.0 |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | 10.1  | 9.0   | 9.8   | 8.6   | 9.1   | 9.1   | 10.2  | 10.6  | 11.7  | 13.2  | 12.7  | 14.8  | 16.5  | 17.3  | 18.2  | 18.7  | 21.0  | 22.9  | 23.9  | 24.9  | 25.6 |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | 10.5  | 9.4   | 9.2   | 9.0   | 9.0   | 9.4   | 10.2  | 10.9  | 12.0  | 13.0  | 12.7  | 14.3  | 15.0  | 16.9  | 16.9  | 17.8  | 19.8  | 20.5  | 21.1  | 22.8  | 23.4 |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul          | 10.5  | 9.4   | 9.0   | 8.5   | 8.6   | 9.0   | 9.9   | 10.5  | 11.2  | 11.9  | 12.3  | 13.5  | 14.6  | 16.2  | 16.7  | 16.8  | 18.5  | 20.2  | 21.2  | 22.4  | 24.3 |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil        | 9.9   | 8.9   | 8.4   | 7.8   | 7.7   | 8.2   | 9.0   | 9.5   | 10.4  | 11.0  | 11.0  | 12.7  | 13.6  | 15.0  | 15.5  | 15.8  | 17.5  | 19.2  | 20.0  | 21.5  | 23.0 |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | 9.9   | 9.0   | 8.5   | 7.9   | 7.6   | 8.2   | 9.0   | 9.8   | 10.7  | 10.5  | 12.0  | 12.7  | 14.5  | 15.0  | 15.5  | 16.0  | 19.0  | 19.4  | 20.1  | 21.6  |      |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | 10.7  | 10.2  | 9.4   | 9.0   | 8.5   | 9.0   | 9.4   | 9.6   | 10.1  | 10.4  | 10.5  | 11.6  | 12.0  | 13.7  | 14.4  | 14.7  | 15.7  | 17.4  | 18.0  | 18.7  | 19.6 |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue         | 8.8   | 7.7   | 7.0   | 6.9   | 7.2   | 8.0   | 8.5   | 10.0  | 10.8  | 10.6  | 11.3  | 12.4  | 14.2  | 15.0  | 16.0  | 16.5  | 19.0  | 20.3  | 21.6  | 22.5  | 24.8 |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | 8.9   | 7.5   | 7.5   | 7.1   | 7.6   | 8.0   | 8.9   | 9.2   | 10.1  | 11.0  | 10.7  | 12.8  | 14.5  | 15.5  | 16.9  | 17.0  | 18.7  | 20.4  | 22.0  | 23.8  | 25.0 |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | 9.6   | 9.0   | 8.5   | 7.6   | 8.0   | 8.6   | 9.0   | 9.4   | 10.0  | 11.0  | 10.6  | 12.0  | 13.0  | 14.5  | 15.4  | 15.2  | 18.0  | 19.7  | 20.0  | 21.0  | 23.0 |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | 10.2  | 9.0   | 8.8   | 8.4   | 8.7   | 8.9   | 9.6   | 10.7  | 11.6  | 12.2  | 11.5  | 13.0  | 14.8  | 15.8  | 18.1  | 17.7  | 20.0  | 22.6  | 22.5  | 23.5  | 25.0 |

Tabla 2.6: percentil 10 de la tmax (TXP10) Los valores en rojo corresponden máximo valor registrado en la zona de estudio, mientras que los azules representan la localidad que menor valor registro en dicha década. Los valores sombreados en gris los máximos y mínimos absolutos en la región.

Los valores más bajos en las primeras décadas se registran en **Pigue**, localizada en la región sur oeste de la zona analizada, alcanzando su valor mínimo en la primera década de julio (6.9°C). A partir de la primera década de septiembre es **Mar del Plata** (en el sudeste de la región analizada) la estación donde se registran los menores valores del percentil de todas las estaciones estudiadas. Los valores más altos se registran en la localidad de **Ceres** ubicada al norte de la región analizada, alcanzando un valor máximo de 26.4°C en la segunda década de diciembre. Debe destacarse que para esta localidad, en esta época, el cultivo de trigo ya se encuentra cosechado.

A priori este tipo de extremo ("máximas frías"), a diferencia de los extremos de "mínimas muy frías" o "máximas muy cálidas", difícilmente alcance valores considerados como "críticos" para el cultivo en la región analizada. Sin embargo, en esta tesis se analiza si la condición de "máxima fría" es favorable para el rendimiento de cultivo teniendo en cuenta que la ocurrencia de temperaturas por debajo de la temperatura óptima hasta la temperatura base, provoca que se prolonguen las distintas fases del cultivo.

## **TNP90**

Este índice representa el percentil 90 de la  $t_{min}$  en cada década estudiada. Los valores correspondientes son presentados en la tabla 2.7.

| Zona  | Lat.   | Long.  | Localidad    | Jun_1       | Jun_2       | Jun_3       | Jul_1       | Jul_2       | Jul_3       | Ago_1       | Ago_2       | Ago_3       | Set_1       | Set_2       | Set_3       | Oct_1       | Oct_2       | Oct_3       | Nov_1       | Nov_2       | Nov_3       | Dic_1       | Dic_2       | Dic_3       |
|-------|--------|--------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| NC 1  | -29.88 | -61.93 | Ceres        | 15.3        | 15.4        | 14.1        | 14.1        | 13.6        | 12.9        | 12.4        | 14.2        | 15.2        | 16.2        | 14.8        | <b>15.8</b> | <b>17.6</b> | <b>18.6</b> | <b>19.3</b> | 19.2        | <b>20.8</b> | <b>20.8</b> | 20.6        | <b>21.5</b> | 21.9        |
| NC 1  | -31.20 | -61.50 | Rafaela      | 14.7        | 14.7        | 12.9        | 13.0        | 12.6        | 11.7        | 11.5        | 12.9        | 14.2        | 14.9        | 13.8        | 14.7        | 16.8        | 17.5        | 18.0        | 18.4        | 19.4        | 19.7        | 19.8        | 20.6        | 21.3        |
| ER 2  | -31.38 | -58.12 | Concordia    | <b>16.2</b> | 15.5        | <b>14.5</b> | <b>14.3</b> | 14.5        | <b>13.9</b> | <b>14.0</b> | <b>15.5</b> | <b>15.8</b> | <b>16.5</b> | <b>15.1</b> | 15.5        | 17.0        | 18.1        | 18.2        | 18.9        | 19.4        | 20.0        | 20.3        | 21.2        | 21.6        |
| ER 2  | -31.79 | -60.48 | Parana       | 15.7        | <b>15.8</b> | 13.9        | 13.0        | <b>15.0</b> | 12.7        | 13.5        | 14.8        | 14.9        | 16.1        | 14.7        | 15.7        | 17.0        | 18.0        | 19.0        | 19.0        | 20.0        | 20.0        | <b>20.9</b> | 21.0        | <b>22.3</b> |
| ER 2  | -32.48 | -58.36 | C.Uruguay    | 15.0        | 14.6        | 13.3        | 13.1        | 13.6        | 13.0        | 13.1        | 14.4        | 15.0        | 16.0        | 13.9        | 15.2        | 16.7        | 17.3        | 18.3        | 18.4        | 19.0        | 19.8        | 19.7        | 20.7        | 21.8        |
| ER 2  | -33.01 | -58.61 | Guauguaych   | 14.4        | 14.0        | 12.8        | 12.5        | 13.0        | 13.1        | 12.7        | 13.5        | 14.5        | 15.3        | 14.0        | 14.9        | 16.0        | 16.8        | 18.0        | 18.0        | 18.6        | 19.6        | 19.6        | 20.5        | 21.7        |
| NO 3  | -31.86 | -63.74 | Manfredi     | 11.3        | 11.0        | 9.9         | 9.7         | 9.5         | 8.6         | 9.2         | 9.6         | 11.1        | 12.0        | 11.6        | 13.0        | 15.0        | 16.2        | 16.8        | 17.5        | 18.3        | 18.7        | 19.5        | 19.9        | 21.0        |
| CN1 4 | -33.74 | -59.80 | San Pedro    | 13.5        | 13.0        | 10.7        | 11.6        | 12.4        | 11.4        | 11.1        | 12.3        | 13.3        | 14.5        | 12.4        | 13.9        | 14.9        | 16.3        | 17.2        | 17.7        | 18.6        | 19.5        | 19.4        | 20.2        | 21.0        |
| CN1 4 | -33.93 | -60.56 | Pergamino    | 12.1        | 12.0        | 10.3        | 10.6        | 11.0        | 10.3        | 10.1        | 11.1        | 12.6        | 13.2        | 11.8        | 12.6        | 14.5        | 16.1        | 16.6        | 16.8        | 17.5        | 18.8        | 18.9        | 19.6        | 20.4        |
| CN1 4 | -34.55 | -60.93 | Junin        | 11.8        | 11.2        | 9.8         | 9.8         | 10.4        | 9.9         | 10.0        | 10.6        | 12.5        | 12.7        | 11.8        | 12.4        | 13.8        | 15.2        | 15.6        | 16.5        | 17.2        | 18.2        | 18.0        | 18.7        | 20.0        |
| CN1 4 | -34.96 | -60.04 | Chivilcoy    | 10.7        | 10.4        | 9.0         | 9.2         | 10.1        | 9.7         | 9.5         | 10.4        | 11.6        | 12.1        | 11.4        | 12.1        | 13.4        | 14.9        | 15.3        | 16.1        | 17.0        | 18.3        | 18.5        | 18.8        | 20.1        |
| CN2 5 | -32.56 | -60.87 | Oliveros     | 15.1        | 14.3        | 12.5        | 13.1        | 13.1        | 12.1        | 12.2        | 13.9        | 15.2        | 15.8        | 14.2        | 15.7        | 16.9        | 17.9        | 18.5        | <b>19.3</b> | 19.7        | 20.1        | 20.4        | 21.0        | 21.7        |
| CN2 5 | -32.72 | -62.10 | Marcos Juare | 13.7        | 13.0        | 10.6        | 12.1        | 11.6        | 10.1        | 10.7        | 11.8        | 13.4        | 14.2        | 13.0        | 14.4        | 15.5        | 17.0        | 17.8        | 18.4        | 18.9        | 19.6        | 19.9        | 20.6        | 21.3        |
| CP 6  | -35.40 | -60.93 | 9 de Julio   | 11.0        | 10.0        | 9.5         | 10.3        | 10.1        | 9.6         | 10.0        | 11.0        | 11.7        | 12.0        | 11.6        | 12.5        | 13.8        | 15.8        | 15.5        | 16.0        | 17.3        | 18.4        | 18.5        | 18.7        | 20.3        |
| CP 6  | -35.84 | -61.86 | Pehuajo      | 10.4        | 9.4         | 8.3         | 9.0         | 9.4         | 8.5         | 9.0         | 9.5         | 11.0        | 11.3        | 10.4        | 12.2        | 13.5        | 14.6        | 15.4        | 15.6        | 17.0        | 18.0        | 18.3        | 18.5        | 19.7        |
| OA 7  | -33.09 | -64.28 | Río Cuarto   | 10.5        | 9.9         | 8.4         | 8.5         | 9.4         | 8.2         | 8.6         | 10.1        | 11.7        | 12.4        | 12.0        | 13.7        | 14.8        | 16.0        | 17.1        | 17.2        | 18.0        | 19.4        | 19.5        | 19.6        | 20.7        |
| OA 7  | -34.13 | -63.36 | Laboulaye    | 10.6        | 10.8        | 8.6         | 9.4         | 9.0         | 8.2         | 8.8         | 9.4         | 10.7        | 11.6        | 11.1        | 12.5        | 14.0        | 15.5        | 15.6        | 16.7        | 17.5        | 18.0        | 18.6        | 19.1        | 20.2        |
| OA 7  | -35.12 | -63.01 | GralVillegas | 9.6         | 9.2         | 8.0         | 8.5         | 8.2         | 7.6         | 8.0         | 9.5         | 10.7        | 11.6        | 10.7        | 12.4        | 13.4        | 15.2        | 16.0        | 16.7        | 18.0        | 19.0        | 19.2        | 19.4        | 20.6        |
| OA 7  | -36.59 | -64.28 | Santa Rosa   | 8.7         | 8.6         | 7.3         | 7.5         | 7.7         | 7.2         | <b>7.1</b>  | 8.4         | 10.0        | 10.3        | 9.9         | 11.6        | 12.8        | 14.3        | 14.2        | 15.7        | 16.7        | 18.2        | 18.2        | 18.7        | 20.3        |
| CE 8  | -36.19 | -61.07 | Bolivar      | 10.5        | 10.0        | 7.5         | 8.6         | 8.8         | 8.2         | 8.0         | 9.0         | 11.5        | 11.2        | 11.4        | 12.2        | 13.1        | 14.3        | 15.4        | 15.5        | 16.5        | 17.5        | 17.2        | 18.0        | 19.2        |
| CE 8  | -36.83 | -59.89 | Azul         | 8.6         | 8.7         | 7.4         | 7.5         | 8.0         | 8.2         | 7.6         | 8.4         | 9.5         | 9.5         | 9.0         | 10.5        | 12.0        | 13.3        | 13.2        | 14.3        | 15.0        | 16.0        | 16.4        | 16.8        | 18.2        |
| SE 9  | -37.27 | -59.10 | Tandil       | 8.4         | 8.5         | 7.2         | 7.2         | 7.8         | 7.8         | 7.3         | 8.5         | 9.2         | <b>9.0</b>  | <b>8.8</b>  | <b>10.1</b> | 11.5        | 12.8        | 13.1        | 13.6        | <b>14.5</b> | 16.0        | 16.0        | <b>16.2</b> | <b>17.6</b> |
| SE 9  | -37.76 | -58.30 | Balcarce     | 8.7         | 8.8         | 7.5         | 7.8         | 8.0         | 8.2         | 7.8         | 8.6         | 9.0         | <b>9.0</b>  | <b>8.8</b>  | <b>10.1</b> | <b>11.3</b> | 13.0        | 13.0        | 13.4        | 14.5        | <b>15.5</b> | <b>15.8</b> | <b>16.2</b> | 18.0        |
| SE 9  | -37.93 | -57.58 | Mar De Plata | 9.4         | 9.6         | 8.3         | 8.0         | 9.0         | 8.8         | 8.5         | 8.5         | 9.5         | 9.8         | 9.5         | 10.9        | 11.6        | 13.0        | 13.0        | 13.8        | 14.5        | 16.0        | 16.6        | 16.6        | 18.3        |
| SO 10 | -37.61 | -62.39 | Pigue        | 8.1         | 8.0         | 7.0         | 7.0         | 7.3         | 7.1         | 7.2         | 8.0         | 8.9         | 9.1         | 8.9         | 10.2        | 11.4        | 13.7        | 12.7        | 13.3        | 14.6        | 16.3        | 16.4        | 16.4        | 17.9        |
| SO 10 | -37.77 | -63.09 | Bordenave    | 8.2         | <b>7.9</b>  | 7.0         | <b>6.9</b>  | <b>7.2</b>  | <b>7.0</b>  | 7.8         | 8.2         | 10.0        | 9.8         | 9.0         | 11.0        | 11.5        | 13.0        | 13.4        | 14.0        | 15.5        | 16.7        | 16.9        | 17.3        | 19.4        |
| SO 10 | -38.41 | -60.33 | Tres Arroyos | <b>8.0</b>  | 8.1         | <b>6.9</b>  | 7.7         | 7.7         | 7.5         | 7.2         | <b>7.9</b>  | <b>8.8</b>  | 9.7         | <b>8.8</b>  | 10.4        | 11.5        | <b>12.6</b> | <b>12.6</b> | <b>13.2</b> | 14.9        | 16.0        | 15.9        | 16.6        | 18.6        |
| SO 10 | -38.72 | -62.16 | Bahia Blanca | 9.0         | 9.0         | 8.0         | 7.6         | 8.5         | 8.2         | 8.6         | 9.0         | 10.3        | 11.0        | 10.1        | 12.0        | 12.3        | 13.4        | 14.5        | 15.1        | 16.2        | 18.1        | 18.0        | 18.6        | 20.5        |

**Tabla 2.7: Percentil 90 de la tmin (TNP90). Los valores en rojo corresponden a los máximos valores registrados en la zona de estudio mientras que los azules representan los de menor valor en dicha década. Los valores sombreados en gris los máximos y mínimos absolutos.**

Los valores más bajos se registran en las localidades de **Tres Arroyos, Tandil, Balcarce y Bordenave (SE y SO)**, alcanzando un mínimo de 6.9°C en la tercera década de junio (Tres Arroyos) y en la primera década de julio (Bordenave). Las localidades de **Ceres, Concordia y Paraná** ubicadas más al norte de la zona analizada presentan en general los valores más altos de TNP90, con un máximo de 22.3°C en la tercera década de diciembre (Paraná).

Si bien las temperaturas encontradas, al igual que en el caso anterior, están lejos de las temperaturas críticas máximas en la región analizada, en esta tesis se estudia si la condición de "mínimas cálidas", dentro de las llamadas temperaturas moderadamente altas, es desfavorable para el rendimiento de cultivo y, en ese caso, si el impacto es homogéneo para toda la región. García et al (2015), estudiando la influencia del aumento de temperatura mínima, muestran que pueden llegar a registrarse mermas en los rendimientos de trigo de hasta el 7% en promedio por cada grado centígrado de aumento al superar los 11°C de temperatura mínima, en el periodo crítico. La tabla 2.7 muestra que este valor no es extremadamente raro (o poco frecuente) en la zona analizada. En efecto, el percentil 90 de la temperatura mínima desde setiembre (en las estaciones ubicadas más al norte) y octubre (en las ubicadas al sur), es ampliamente superado, con lo cual los años que posean un alto porcentaje de días que superen este valor de temperatura (TNP90) se verían afectados con una merma en los rendimientos.

## TXP90

La tabla 2.8 presenta los datos de TXP90 para el periodo 1980-2009, que como se mostró en la tabla 2.2, representa el percentil 90 de la tmax.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1   | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1  | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 | Dic_2 | Dic_3 |       |  |
|------|------|--------|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres   | 23.9  | 24.8  | 23.0  | 24.9  | 27.1  | 25.6  | 27.3  | 29.6  | 31.1   | 31.2  | 30.0  | 30.8  | 31.8  | 32.6  | 34.5  | 33.5  | 34.2  | 35.0  | 35.2  | 35.4  | 36.10 |  |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela   | 22.8  | 23.3  | 21.6  | 23.0  | 25.0  | 23.3  | 25.7  | 27.3  | 28.9   | 28.5  | 28.1  | 29.0  | 30.1  | 31.9  | 32.7  | 32.4  | 33.4  | 34.1  | 34.1  | 34.8  | 35.2  |  |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia   | 24.0  | 24.3  | 22.3  | 24.6  | 26.2  | 24.0  | 27.2  | 27.8  | 29.6   | 29.0  | 28.0  | 28.5  | 29.4  | 31.4  | 32.1  | 32.2  | 33.0  | 34.2  | 34.3  | 36.00 | 36.60 |  |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana  | 23.2  | 22.2  | 21.5  | 21.7  | 23.8  | 22.3  | 24.6  | 25.0  | 26.0   | 26.7  | 26.3  | 27.8  | 28.1  | 29.4  | 30.7  | 30.3  | 32.2  | 32.9  | 32.5  | 33.5  | 34.5  |  |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C. Uruguay  | 22.4  | 22.8  | 21.5  | 22.4  | 23.9  | 22.9  | 24.4  | 25.8  | 27.2   | 27.3  | 26.1  | 26.8  | 27.6  | 29.4  | 30.2  | 30.5  | 31.9  | 32.8  | 32.8  | 33.8  | 34.9  |  |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualeguaychu  | 22.2  | 22.5  | 21.1  | 22.0  | 23.7  | 22.4  | 24.5  | 25.5  | 26.5   | 27.0  | 25.5  | 26.9  | 27.5  | 29.7  | 30.4  | 31.0  | 32.0  | 33.4  | 33.5  | 33.9  | 35.50 |  |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi  | 22.9  | 22.0  | 21.5  | 22.4  | 23.0  | 22.4  | 24.8  | 26.0  | 28.4   | 28.4  | 27.5  | 28.2  | 30.2  | 31.8  | 32.5  | 33.0  | 33.7  | 34.2  | 33.7  | 34.0  | 35.2  |  |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro   | 20.9  | 20.0  | 18.9  | 19.7  | 21.1  | 20.9  | 21.5  | 24.0  | 25.3   | 24.9  | 25.5  | 26.1  | 26.6  | 28.4  | 29.5  | 30.1  | 31.2  | 31.9  | 32.5  | 32.9  | 34.1  |  |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino   | 20.9  | 20.0  | 19.4  | 20.6  | 22.0  | 21.0  | 22.2  | 24.7  | 26.0   | 25.5  | 25.6  | 27.0  | 27.4  | 29.5  | 30.6  | 31.0  | 32.1  | 32.8  | 33.6  | 33.8  | 34.5  |  |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin   | 20.2  | 19.5  | 19.0  | 20.0  | 21.3  | 20.3  | 21.3  | 23.3  | 25.5   | 24.8  | 24.9  | 26.0  | 26.9  | 28.3  | 29.5  | 30.2  | 31.4  | 32.6  | 33.2  | 33.1  | 34.0  |  |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy   | 19.8  | 18.5  | 18.2  | 18.9  | 20.0  | 19.3  | 20.5  | 22.3  | 24.0   | 24.8  | 24.5  | 25.6  | 26.5  | 27.8  | 29.3  | 30.3  | 31.2  | 32.8  | 33.6  | 33.0  | 35.0  |  |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros  | 21.8  | 21.8  | 20.3  | 21.4  | 23.2  | 22.2  | 23.2  | 25.1  | 26.8   | 26.7  | 26.8  | 27.6  | 27.8  | 30.0  | 31.3  | 31.3  | 32.8  | 33.7  | 33.5  | 33.9  | 34.9  |  |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez   | 21.6  | 21.0  | 21.0  | 21.8  | 23.1  | 22.0  | 23.0  | 25.7  | 27.3   | 27.0  | 27.0  | 28.0  | 29.0  | 31.2  | 32.1  | 32.1  | 33.0  | 33.7  | 33.6  | 34.0  | 35.0  |  |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio  | 19.7  | 18.5  | 18.3  | 19.0  | 19.9  | 19.2  | 20.7  | 22.6  | 24.0   | 24.8  | 24.3  | 25.6  | 26.4  | 27.8  | 29.0  | 30.0  | 31.2  | 33.0  | 33.7  | 33.0  | 34.5  |  |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo   | 19.1  | 18.1  | 18.0  | 18.2  | 19.4  | 19.1  | 20.0  | 22.0  | 24.2   | 24.1  | 24.0  | 25.4  | 25.6  | 27.1  | 28.2  | 29.2  | 30.3  | 32.1  | 32.4  | 32.2  | 34.0  |  |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto  | 21.0  | 20.0  | 20.4  | 21.0  | 22.4  | 22.4  | 22.8  | 25.3  | 27.0   | 27.8  | 26.9  | 28.4  | 29.3  | 31.0  | 31.8  | 31.8  | 32.2  | 33.6  | 33.3  | 32.9  | 34.3  |  |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye   | 21.0  | 20.0  | 20.0  | 20.4  | 21.3  | 20.6  | 22.2  | 24.5  | 26.7   | 26.8  | 26.3  | 28.1  | 28.5  | 29.6  | 31.4  | 31.8  | 32.3  | 34.0  | 33.7  | 33.6  | 35.2  |  |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | Gral Villegas   | 20.2  | 19.1  | 19.0  | 20.0  | 19.8  | 20.4  | 21.5  | 23.6  | 25.6   | 25.9  | 25.9  | 27.5  | 28.0  | 29.0  | 30.6  | 30.6  | 32.0  | 34.0  | 34.2  | 34.3  | 35.80 |  |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa  | 19.7  | 18.9  | 20.0  | 19.3  | 19.7  | 19.7  | 21.2  | 23.1  | 25.0   | 25.6  | 25.7  | 27.0  | 27.4  | 28.4  | 30.4  | 30.3  | 32.3  | 34.3  | 34.2  | 35.0  | 35.60 |  |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar   | 19.4  | 17.2  | 17.5  | 18.0  | 18.3  | 18.4  | 19.5  | 21.2  | 23.5   | 23.7  | 23.8  | 24.5  | 25.3  | 27.1  | 27.3  | 29.0  | 29.5  | 31.4  | 32.1  | 32.0  | 33.7  |  |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul  | 18.0  | 16.9  | 17.2  | 16.9  | 17.6  | 17.8  | 18.6  | 20.7  | 22.3   | 22.5  | 22.6  | 23.4  | 24.5  | 26.0  | 26.6  | 27.4  | 28.5  | 30.5  | 31.4  | 31.1  | 33.2  |  |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil  | 17.7  | 16.3  | 16.6  | 16.5  | 17.0  | 17.5  | 18.0  | 20.2  | 21.2   | 22.2  | 21.5  | 22.6  | 23.6  | 24.8  | 26.2  | 26.3  | 28.0  | 30.0  | 30.6  | 30.6  | 32.2  |  |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce  | 17.3  | 16.2  | 16.9  | 16.2  | 17.0  | 17.0  | 17.8  | 19.6  | 20.6   | 21.0  | 21.6  | 21.6  | 23.5  | 24.5  | 26.0  | 26.5  | 28.4  | 29.8  | 30.6  | 30.6  | 32.0  |  |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | 17.8  | 16.8  | 16.9  | 16.7  | 17.1  | 17.3  | 18.0  | 19.6  | 20.6   | 21.9  | 22.0  | 22.4  | 23.7  | 25.4  | 26.0  | 27.0  | 27.9  | 29.4  | 30.8  | 30.1  | 32.1  |  |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue   | 19.8  | 18.2  | 18.1  | 19.0  | 18.9  | 19.0  | 19.5  | 22.1  | 22.7   | 23.9  | 23.8  | 25.4  | 25.8  | 27.0  | 28.4  | 28.7  | 30.4  | 32.6  | 32.4  | 32.5  | 34.0  |  |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave   | 17.8  | 16.5  | 17.4  | 17.2  | 17.0  | 17.8  | 18.7  | 21.0  | 22.4   | 22.8  | 23.0  | 23.7  | 25.3  | 26.2  | 27.7  | 28.5  | 30.7  | 32.6  | 33.4  | 33.2  | 34.7  |  |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | 18.0  | 16.9  | 16.6  | 17.0  | 17.6  | 18.2  | 19.0  | 20.1  | 21.4   | 23.0  | 23.0  | 24.0  | 24.7  | 25.4  | 27.0  | 28.0  | 30.1  | 32.2  | 32.2  | 32.6  | 34.1  |  |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | 18.7  | 17.9  | 18.7  | 18.0  | 19.4  | 20.6  | 21.6  | 23.5  | 24.2   | 24.4  | 25.4  | 26.7  | 27.6  | 29.0  | 29.8  | 31.5  | 33.9  | 33.2  | 34.5  | 36.0  |       |  |
|      |      |        |           | Afecta todas las etapas del cultivo   |       |       |       |       |       |       |       |       | Afecta todas las etapas del cultivo excepto llenado de grano |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|      |      |        |           | Afecta todas las etapas del cultivo excepto llenado de grano y establecimiento          |       |       |       |       |       |       |       |       |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|      |      |        |           | Afecta todas las etapas del cultivo excepto llenado de grano, establecimiento y Antesis |       |       |       |       |       |       |       |       |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|      |      |        |           | No Afecta ninguna etapa.  |       |       |       |       |       |       |       |       |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |

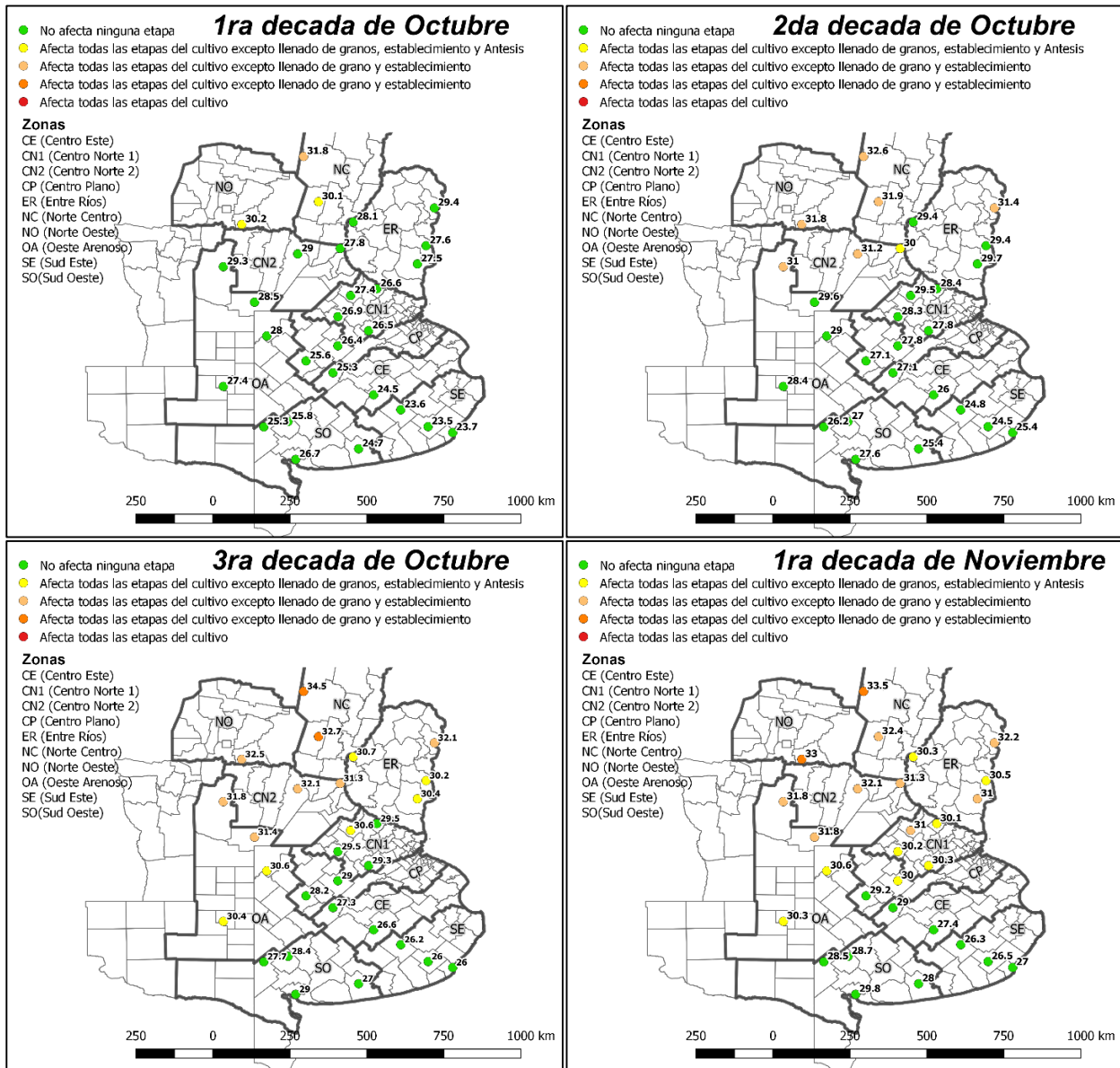
Tabla 2.3: Percentil 90 de la tmax.

El valor más bajo de TXP90 en la zona analizada es de 16.2 °C para la segunda década de junio y la primera de julio en la localidad de Balcarce, y el valor máximo se encuentra en la localidad de **Concordia** en la tercera década de diciembre siendo el mismo de 36.6 °C (debe destacarse que el cultivo de trigo para esta localidad y época se encuentra cosechado). Regionalmente los valores más bajos se registran mayormente en las localidades de **Balcarce** y **Mar del Plata**, localizadas en la zona SE. Por otro lado las localidades de **Ceres** y **Concordia** ubicadas en las zonas NC y ER presentan en general los valores más altos de TXP90.

Centrando el análisis en el trimestre setiembre, octubre y noviembre (que consideramos período crítico para el cultivo de trigo), a excepción de **Ceres**, ninguna estación presenta durante el mes de setiembre valores iguales o superiores a los máximos de la tabla 1.1. En octubre (figura 2.5) podemos encontrar estaciones con temperaturas superiores a las que producen daño al cultivo en prefloración y floración, destacándose las que se ubican **al oeste**. **Tal es el caso de las zonas el NC** particularmente, **NO, CN2 y OA**. Ya en la tercera década de octubre este límite es superado en casi la mitad de las estaciones y para la tercera década de noviembre solo las estaciones de **Balcarce** y



Mar del Plata presentan valores de temperatura inferior a dicho límite (figura 2.5).



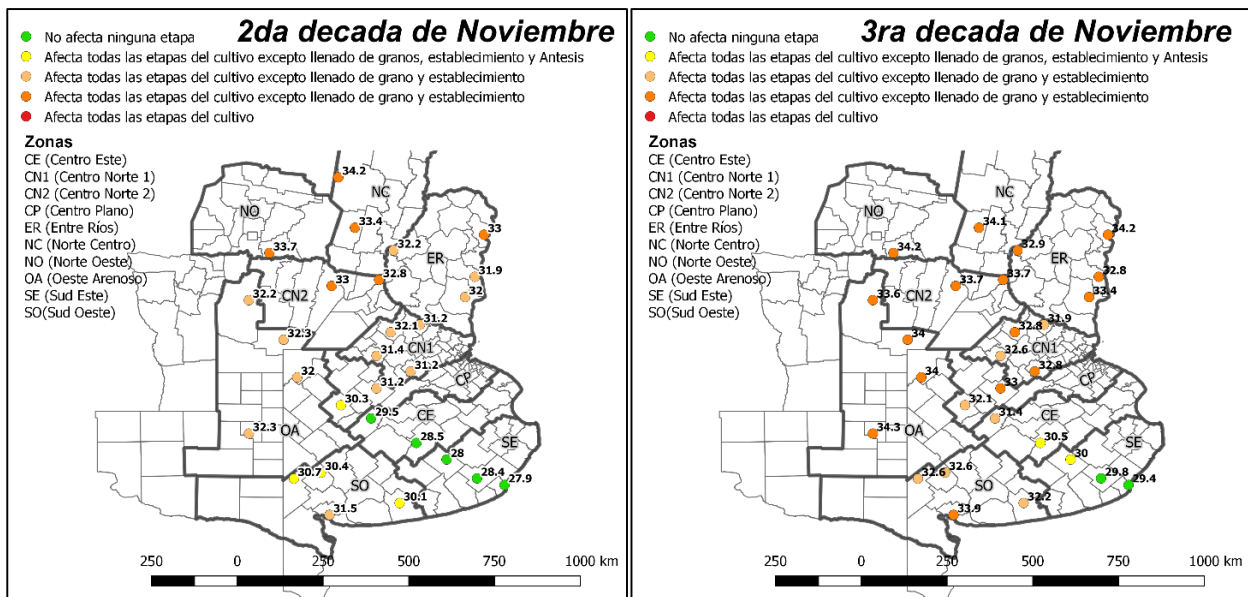


Figura 2.5. Percentil 90 de la temperatura máxima de las distintas décadas de octubre y noviembre para el periodo 1980 – 2009.

Más allá de lo expresado en cuanto a temperaturas extremas, se observa que 14 estaciones (la mitad del total considerado) a partir de la primera década de setiembre y casi todas en octubre y noviembre, poseen valores de TXP90 que se encuentran dentro del rango de las temperaturas moderadamente altas (entre 25 y 30°C), temperaturas que producen mermas en los rendimientos (Stone et al 1995), o compatibles con golpes de calor (superior a los 30°C). Durante el mes de octubre (en las estaciones del norte) y el mes de noviembre (en casi todas las estaciones), el rango de temperaturas moderadamente altas **no constituye un extremo térmico** tal como aquí se define, ya que se registra con una frecuencia superior al 10%.

# **CAPITULO 3**

## **Cálculo de índices de extremos climáticos**

## Introducción

La primera manifestación del cambio climático es la modificación en la temperatura, no sólo en su valor medio global, sino también en la ocurrencia de sus extremos. En el tercer informe del IPCC (2001) se define como fenómenos meteorológicos extremos a un *“fenómeno raro dentro de su distribución estadística de referencia en un lugar determinado. Las definiciones sobre lo que se considera ‘raro’ pueden variar, pero un fenómeno meteorológico extremo puede ser normalmente tan raro o más raro que el percentil 10° o 90°. Por definición, las características de una meteorología extrema varían según los lugares. Un fenómeno climático extremo es una media de una serie de fenómenos meteorológicos en un período concreto, media que de por sí es extrema (por ejemplo la precipitación durante una estación)”*.

El estudio de temperaturas extremas se ha intensificado en los últimos años. Con el objetivo de obtener una perspectiva uniforme sobre los cambios observados en el clima y los fenómenos climáticos extremos, la Organización Meteorológica Mundial, a través de un equipo de expertos (CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices), definió una serie de índices de extremos que describen características particulares como intensidad, frecuencia y persistencia, y que permiten realizar comparaciones en distintas partes del mundo (Vincent et al. 2005; Alexander et al. 2006; Donat et al. 2013). En nuestro país, algunos de estos índices, y otros específicos de interés agroclimático, han sido analizados por Rusticucci y Barrucand (2004), Fernández Long et al. (2013) para el centro-este Argentino y Rusticucci et al. (2017) para Argentina al norte de los 40°S, entre otros.

En el capítulo 2 se hizo referencia a estos índices, que consideran para su definición un umbral estadístico, como es el percentil 10 o 90 de temperatura máxima o mínima, o un valor fijo.

La determinación de un umbral fijo está relacionada con el propósito de estudio. En el marco de esta tesis, se focaliza el análisis en el impacto de los extremos de temperatura sobre el rendimiento del trigo en la Pampa Húmeda ampliada de Argentina, por lo que se consideraron aquellos valores que la literatura presenta como críticos en distintas etapas fenológicas y que han sido descriptos en el capítulo 1. En la tabla 1.1, se observa que la tolerancia a los extremos de tmax varía según el estado fenológico del cultivo y que dichas tmax oscilan entre los 30 a 35° C. Ambos extremos fueron seleccionados como umbral fijo, descartándose por la baja frecuencia el extremo de 35°C. De igual forma se establecieron los índices fijos de helada meteorológica (0°C) y agrometeorológica (3°C), teniendo en cuenta que estos valores son cercanos a lo que la bibliografía

propone como umbrales de daños severos, en ciertas etapas fenológicas del cultivo.

Teniendo en cuenta resultados previos de la literatura, y considerando los índices recomendados por el panel de expertos, se calcularon índices basados en un valor fijo de temperatura, como los antes mencionados, e índices de extremos basados en percentiles (tabla 3.1). Este último tipo de índices están relativizados a su propia climatología, ya que tienen en cuenta como umbral para su definición un percentil (10 o 90) calculado a partir de los datos de la propia localidad considerada. Cada estación meteorológica tiene su propio umbral a partir del cual se define si la temperatura mínima o máxima ha sido “muy cálida” o “muy fría”. El carácter de “muy cálido” o “muy frío” está referido, por tanto, a las condiciones que son esperables para cada localidad, y no en términos de una temperatura única fija para todas las estaciones. Esta forma de caracterizar los extremos térmicos, aportan información complementaria a los índices basados en un umbral fijo.

|      |  |
|------|--|
| TX90 | Frecuencia porcentual de días con tmax superiores al percentil 90. |
| TX10 | Frecuencia porcentual de días con tmax inferiores al percentil 10. |
| TN90 | Frecuencia porcentual de días con tmin superiores al percentil 90. |
| TN10 | Frecuencia porcentual de días con tmin inferiores al percentil 10. |
| T30  | Número de días con tmax superior a 30 °C.                          |
| T0   | Número de días con tmin inferior a 0 °C.                           |
| T3   | Número de días con tmin inferior a 3°C.                            |
| DTR  | Diferencia media mensual entre las tmax y tmin.                    |

**Tabla 3.1: Índices utilizados en el presente estudio.**

Por dar un ejemplo, la bibliografía hace referencia a TN10 como "noches frías" (Solomon et al. 2007; Rusticucci y Renom 2008, Marengo et al. 2009, entre otros). A través de este índice podemos evaluar impactos que generan un mayor o menor número de noches frías (siempre en referencia a la climatología propia de la estación), sin necesidad de que esto signifique una helada meteorológica o agrometeorológica.

Por lo general, la mayoría de los estudios utilizan estos índices a escala mensual. En este trabajo se busca disminuir la escala temporal de análisis, considerando que la respuesta de cualquier cultivo no tiene por qué coincidir con un mes calendario. Es por ello que se ha trabajado en forma decádica, durante el ciclo del cultivo para el periodo de 1980 a 2009. A fin de obtener series más robustas, y evitar los denominados “ruidos” en el cálculo, se realizaron numerosos cálculos, considerando promedios móviles de 1, 2, 3 y 4 décadas consecutivas. A continuación se presentan los resultados correspondientes a los promedios de 3 décadas consecutivas (que denominamos de aquí en más

"mensual decadal") que junto con los valores decadales fueron las escalas temporales elegidas en el presente trabajo de tesis. Esta elección se basó en los resultados obtenidos al analizar el impacto de dichas escalas temporales sobre los rendimientos de trigo (Barberis et al. 2014).

Las tablas que se presentan a continuación muestran valores mensuales decadales de distintos índices térmicos, donde el valor se asigna a la primera década considerada. Por ejemplo para jun\_1 se toma el promedio del índice de la primera, la segunda y la tercera década de junio, jun\_2 es el promedio de la segunda y tercera década de junio, y la primera de julio, y así sucesivamente. Cada tabla está acompañada por una figura, en donde se representan los resultados en un mapa. De esta manera se puede visualizar más claramente las diferencias entre las regiones.

## **Índices Térmicos Definidos Por Umbrales Fijos**

### **T0**

Este índice representa el porcentaje de días de heladas meteorológicas. Las heladas meteorológicas se producen con temperaturas menores o iguales a 0°C, en abrigo meteorológico. El índice considera el número de días con  $TN (t_{min}) \leq 0 \text{ } ^\circ \text{C}$  en forma porcentual para cada década.

La tabla 3.2 y la figura 3.1 presentan los datos de porcentaje de días con  $t_{min}$  inferiores a 0 °C promedio de 3 (tres) décadas consecutivas para el período 1980-2009. En las mismas se puede apreciar el riesgo de tener una helada meteorológica en cada período y en las distintas zonas de la llanura Pampeana, basados en un periodo de 30 años.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |
|------|------|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres         | 7.1   | 8.6   | 10.4  | 11.3  | 11.3  | 9.1   | 6.5   | 4.0   | 2.1   | 0.9   | 0.3   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | 7.6   | 9.1   | 11.6  | 13.0  | 12.4  | 9.7   | 6.5   | 4.3   | 3.5   | 2.7   | 1.6   | 0.3   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia     | 6.3   | 8.1   | 9.6   | 10.8  | 10.3  | 7.2   | 4.1   | 2.7   | 2.0   | 1.3   | 0.3   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana        | 1.7   | 3.6   | 4.8   | 5.7   | 4.5   | 3.3   | 1.7   | 1.0   | 1.1   | 0.8   | 0.6   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C. Uruguay    | 7.1   | 8.4   | 10.4  | 11.4  | 11.1  | 8.0   | 4.5   | 2.6   | 1.7   | 1.1   | 0.4   | 0.1   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualeguaych   | 8.7   | 10.0  | 12.4  | 12.5  | 11.5  | 8.0   | 4.6   | 2.7   | 1.8   | 1.1   | 0.3   | 0.1   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | 27.7  | 30.9  | 35.2  | 35.9  | 35.8  | 32.1  | 26.8  | 22.1  | 17.3  | 12.4  | 6.9   | 3.0   | 1.2   | 0.7   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | 6.9   | 9.0   | 11.4  | 12.4  | 12.2  | 9.3   | 6.5   | 3.8   | 3.1   | 2.3   | 1.3   | 0.2   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | 14.9  | 18.7  | 20.7  | 22.4  | 21.2  | 17.9  | 13.5  | 10.4  | 8.6   | 6.2   | 3.3   | 0.8   | 0.2   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin         | 18.9  | 21.7  | 24.0  | 24.0  | 23.8  | 19.6  | 15.3  | 10.0  | 8.1   | 5.8   | 3.2   | 0.7   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | 13.7  | 16.6  | 20.4  | 21.3  | 19.3  | 15.2  | 10.7  | 7.4   | 5.3   | 3.6   | 1.7   | 0.3   | 0.2   | 0.2   | 0.1   | 0.1   | 0.0   | 0.0   |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | 10.4  | 11.9  | 13.1  | 14.4  | 14.7  | 12.2  | 8.5   | 5.9   | 4.4   | 3.3   | 1.4   | 0.3   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juare  | 11.2  | 13.7  | 16.9  | 17.6  | 17.2  | 13.8  | 9.8   | 7.5   | 5.7   | 4.5   | 2.3   | 0.7   | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0.1   | 0.0   | 0.0   |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | 12.7  | 15.4  | 18.2  | 19.1  | 17.5  | 14.2  | 9.5   | 6.3   | 4.7   | 3.8   | 1.7   | 0.4   | 0.1   | 0.1   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | 18.2  | 21.3  | 26.1  | 26.3  | 24.8  | 20.4  | 15.8  | 12.0  | 9.9   | 7.4   | 4.0   | 1.1   | 0.4   | 0.4   | 0.1   | 0.1   | 0.0   | 0.0   |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | 7.1   | 10.0  | 13.4  | 13.2  | 11.9  | 8.5   | 6.7   | 4.4   | 3.1   | 1.9   | 1.0   | 0.2   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | 20.4  | 23.3  | 27.6  | 28.3  | 29.7  | 26.3  | 20.7  | 14.5  | 9.9   | 7.0   | 3.4   | 1.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | Gral Villegas | 20.8  | 22.7  | 26.5  | 27.0  | 27.8  | 23.3  | 18.9  | 13.8  | 10.8  | 7.3   | 3.9   | 1.4   | 0.4   | 0.3   | 0.1   | 0.1   | 0.0   | 0.0   |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | 22.7  | 25.7  | 29.2  | 30.3  | 30.6  | 26.6  | 21.1  | 15.9  | 12.4  | 9.6   | 5.8   | 2.4   | 0.8   | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0.1   | 0.0   |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | 19.6  | 23.4  | 28.3  | 29.9  | 30.1  | 24.8  | 18.3  | 11.0  | 9.2   | 6.7   | 4.8   | 1.4   | 0.6   | 0.1   | 0.2   | 0.2   | 0.1   | 0.0   |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul          | 29.7  | 33.7  | 36.9  | 37.7  | 35.9  | 30.7  | 25.9  | 20.2  | 19.6  | 16.1  | 11.5  | 5.6   | 3.0   | 2.0   | 1.5   | 0.6   | 0.2   | 0.0   |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil        | 27.1  | 31.8  | 35.9  | 37.7  | 35.6  | 30.9  | 25.7  | 20.6  | 19.5  | 16.6  | 11.9  | 6.0   | 3.2   | 1.7   | 1.2   | 0.4   | 0.1   | 0.0   |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | 12.2  | 15.0  | 17.1  | 19.0  | 19.2  | 16.3  | 13.2  | 9.6   | 8.6   | 6.9   | 4.9   | 2.2   | 0.9   | 0.3   | 0.3   | 0.1   | 0.1   | 0.0   |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | 17.1  | 20.7  | 21.2  | 22.5  | 21.7  | 19.3  | 16.2  | 12.4  | 11.2  | 9.2   | 7.6   | 4.8   | 2.7   | 1.0   | 0.8   | 0.4   | 0.3   | 0.0   |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue         | 32.9  | 35.8  | 39.1  | 38.7  | 38.7  | 32.8  | 27.2  | 20.6  | 19.4  | 16.8  | 12.5  | 6.6   | 4.0   | 2.6   | 1.8   | 0.7   | 0.1   | 0.0   |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | 24.6  | 28.6  | 31.6  | 32.4  | 29.2  | 23.8  | 19.6  | 17.5  | 16.9  | 13.4  | 8.6   | 3.7   | 1.7   | 1.2   | 1.2   | 0.8   | 0.2   | 0.0   |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | 26.9  | 29.9  | 31.7  | 32.0  | 31.1  | 26.8  | 24.3  | 21.2  | 20.8  | 16.9  | 12.3  | 7.0   | 5.5   | 3.4   | 2.5   | 0.8   | 0.4   | 0.1   |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | 22.4  | 24.0  | 26.4  | 26.4  | 27.0  | 22.1  | 19.5  | 14.8  | 14.7  | 11.2  | 7.9   | 3.6   | 2.2   | 1.3   | 0.7   | 0.2   | 0.0   | 0.0   |

|  |   |  |                          |
|--|---|--|--------------------------|
|  | Más de 5 casos por mes todos los años.      |  | Un caso cada 1 a 5 años  |
|  | Entre 1 y 5 casos por mes todos los años.   |  | Un caso cada 5 a 10 años |
|  | Un caso cada más de 10 años o sin registros |  |                          |

Tabla 3.2: Porcentaje de días con tmin inferior a 0 °C (T0).

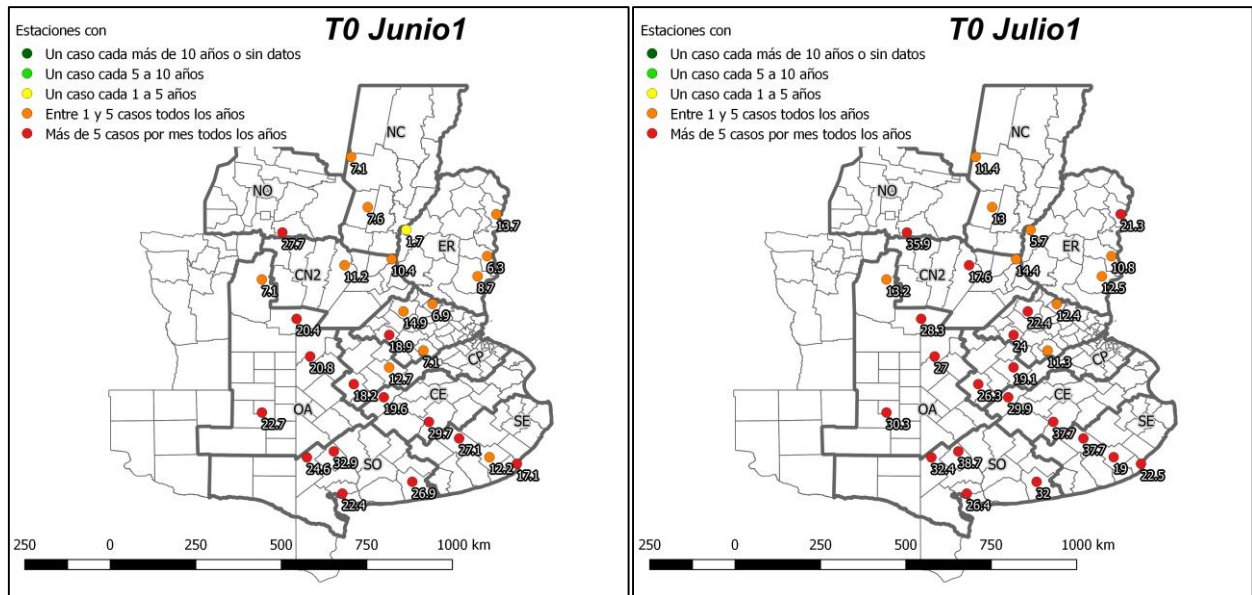


Figura 3.1: Mapas de porcentaje de días con tmin menor o igual a 0 °C (T0). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).

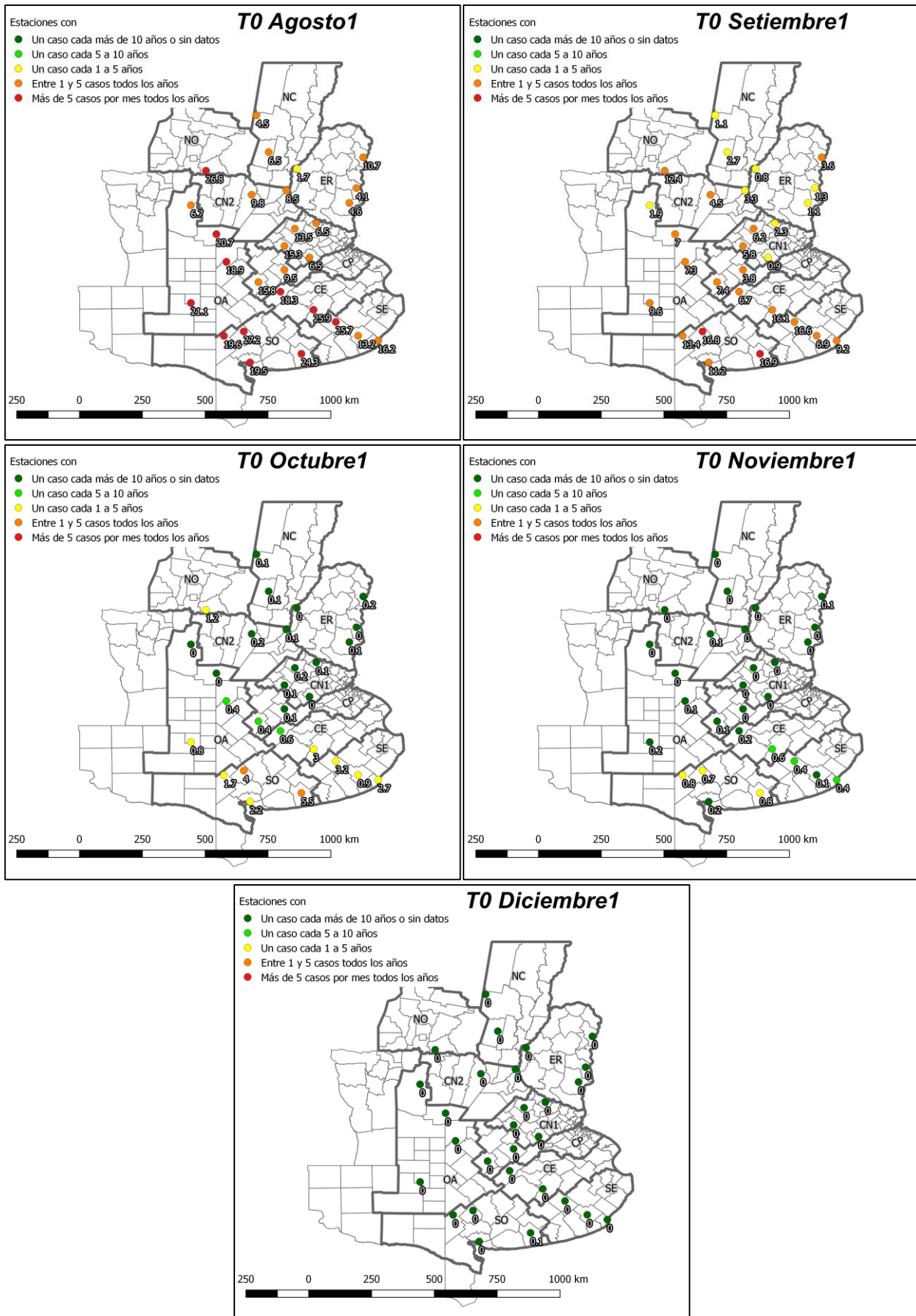


Figura 3.1 (continuación): Mapas de Porcentaje de días con  $t_{\min}$  menor o igual a  $0^{\circ}\text{C}$  ( $T_0$ ). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).



El mayor porcentaje de días con  $t_{min}$  menores o iguales a  $0^{\circ}C$  se registra en las estaciones de **Azul y Tandil**, con 37.7% de días, en el periodo de tres décadas que se inicia con la primera década de julio (Julio\_1 en la tabla 3.2 y en la figura 3.1). La mayor frecuencia de heladas meteorológicas en las primeras décadas del período analizado se registra en **Azul**. A partir de la tercera década de julio la mayor frecuencia de heladas se observa en **Manfredi**, en el noroeste de la región analizada. A partir de la tercera década de agosto la estación de **Tres Arroyos** es la que registra el mayor número de heladas meteorológicas de la región. Por otro lado la localidad de **Paraná**, ubicada al noreste sobre la ribera del río del mismo nombre, presenta los menores porcentajes de días con temperaturas menores a  $0^{\circ}C$ .

### **T3**

Este índice considera el número de días con TN ( $t_{min}$  diaria)  $\leq 3^{\circ}C$  en forma porcentual para cada década. Acorde a lo expresado por Damario y Pascale (1984) temperaturas iguales o inferiores a  $3^{\circ}C$  implican una helada probable a nivel de suelo porque los enfriamientos radiativos van generalmente acompañados de inversión térmica. Este umbral es considerado por el Centro de Información Agroclimática (Facultad de Agronomía – UBA) para definir helada agrometeorológica (<https://www.agro.uba.ar/heladas/definiciones.htm> acceso setiembre 2017).

La tabla 3.3 y la figura 3.2 presentan los resultados de este índice, considerando promedios móviles de tres décadas consecutivas para todo el período considerado, al igual que lo expuesto con el índice T0.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1                                     | Jun_2                                       | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1                    | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |
|------|------|--------|-----------|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres                                     | 21.9  | 24.0  | 28.2  | 29.1  | 28.8  | 23.3  | 18.3  | 14.8  | 12.1                     | 9.0   | 4.6   | 1.9   | 0.4   | 0.2   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela                                   | 26.3  | 27.9  | 30.6  | 31.3  | 31.0  | 27.2  | 21.5  | 17.3  | 14.7                     | 11.2  | 6.6   | 2.5   | 0.9   | 0.6   | 0.3   | 0.3   | 0.0   | 0.0   |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia                                 | 22.7  | 24.1  | 26.8  | 28.0  | 26.0  | 21.2  | 14.9  | 12.3  | 11.2                     | 8.2   | 4.4   | 1.3   | 0.4   | 0.3   | 0.2   | 0.1   | 0.0   | 0.0   |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana                                    | 11.5  | 15.2  | 18.2  | 20.7  | 18.6  | 15.4  | 10.4  | 7.7   | 6.5                      | 5.2   | 3.3   | 0.9   | 0.2   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay                                 | 26.2  | 28.3  | 30.8  | 31.2  | 30.0  | 24.5  | 18.7  | 14.5  | 12.7                     | 9.6   | 5.7   | 1.9   | 0.7   | 0.1   | 0.2   | 0.2   | 0.1   | 0.0   |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualeguaychu                              | 26.5  | 29.2  | 31.7  | 31.4  | 29.9  | 24.2  | 17.3  | 13.5  | 11.2                     | 9.4   | 5.2   | 2.3   | 0.7   | 0.3   | 0.2   | 0.2   | 0.1   | 0.0   |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi                                  | 44.3  | 48.1  | 53.1  | 54.1  | 54.6  | 52.9  | 45.3  | 39.7  | 33.3                     | 27.7  | 19.4  | 10.7  | 5.2   | 2.7   | 0.9   | 0.8   | 0.2   | 0.0   |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro                                 | 27.2  | 30.0  | 32.9  | 33.1  | 32.0  | 27.5  | 23.3  | 18.8  | 15.7                     | 11.5  | 7.0   | 2.6   | 1.0   | 0.1   | 0.1   | 0.2   | 0.2   | 0.1   |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino                                 | 36.8  | 40.6  | 44.4  | 45.2  | 43.8  | 39.8  | 33.9  | 28.8  | 24.8                     | 19.2  | 11.7  | 4.6   | 1.7   | 0.8   | 0.3   | 0.2   | 0.2   | 0.1   |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin                                     | 39.7  | 42.2  | 46.0  | 45.2  | 46.3  | 42.8  | 37.6  | 30.5  | 25.7                     | 20.1  | 12.7  | 5.6   | 2.2   | 1.0   | 0.4   | 0.2   | 0.2   | 0.1   |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy                                 | 34.4  | 37.1  | 39.9  | 40.5  | 40.2  | 35.5  | 29.8  | 23.7  | 20.1                     | 15.8  | 9.4   | 4.3   | 1.5   | 0.9   | 0.3   | 0.1   | 0.0   | 0.0   |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros                                  | 27.2  | 30.2  | 33.3  | 34.5  | 33.6  | 29.4  | 22.2  | 18.9  | 15.9                     | 13.3  | 8.0   | 3.6   | 1.3   | 0.4   | 0.2   | 0.2   | 0.0   | 0.0   |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez                             | 29.9  | 32.9  | 37.2  | 37.9  | 37.1  | 33.7  | 26.8  | 22.4  | 18.5                     | 15.6  | 10.1  | 4.1   | 1.5   | 0.8   | 0.3   | 0.2   | 0.1   | 0.0   |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio                                | 35.1  | 37.0  | 39.6  | 39.8  | 41.3  | 36.2  | 32.1  | 24.5  | 22.0                     | 15.7  | 9.7   | 4.2   | 1.4   | 0.9   | 0.3   | 0.2   | 0.0   | 0.0   |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo                                   | 43.4  | 47.8  | 50.2  | 48.5  | 47.4  | 43.0  | 38.4  | 31.0  | 26.3                     | 20.7  | 13.8  | 7.6   | 3.3   | 2.2   | 0.7   | 0.4   | 0.1   | 0.1   |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Rio Cuarto                                | 29.3  | 33.6  | 37.4  | 37.5  | 37.9  | 32.2  | 24.0  | 16.9  | 12.2                     | 9.3   | 5.0   | 2.4   | 1.0   | 0.6   | 0.1   | 0.1   | 0.0   | 0.0   |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye                                 | 44.3  | 47.3  | 52.2  | 53.0  | 54.8  | 50.0  | 44.2  | 37.4  | 32.5                     | 24.8  | 15.3  | 7.6   | 2.7   | 1.5   | 0.8   | 0.4   | 0.1   | 0.0   |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | Gral Villegas                             | 42.8  | 45.4  | 49.5  | 49.1  | 49.0  | 45.4  | 39.6  | 32.2  | 26.4                     | 21.2  | 14.1  | 7.9   | 3.6   | 2.2   | 1.2   | 0.7   | 0.3   | 0.1   |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa                                | 50.9  | 53.1  | 56.3  | 55.9  | 55.2  | 51.5  | 44.1  | 35.9  | 30.7                     | 25.1  | 17.9  | 9.6   | 4.8   | 3.2   | 1.9   | 1.2   | 0.4   | 0.1   |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar                                   | 45.7  | 50.8  | 52.8  | 52.2  | 50.6  | 46.6  | 39.4  | 31.4  | 28.5                     | 23.9  | 18.0  | 9.3   | 4.6   | 3.1   | 2.0   | 1.4   | 0.6   | 0.3   |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul                                      | 56.4  | 58.7  | 60.9  | 59.9  | 59.2  | 55.3  | 50.7  | 45.7  | 42.5                     | 37.7  | 28.8  | 18.9  | 12.9  | 9.9   | 7.9   | 4.6   | 1.9   | 0.5   |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil                                    | 54.8  | 57.3  | 61.0  | 60.4  | 60.6  | 55.7  | 50.1  | 44.0  | 41.8                     | 38.1  | 29.9  | 19.7  | 14.1  | 11.4  | 9.8   | 5.9   | 3.4   | 1.4   |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce                                  | 42.2  | 48.2  | 50.4  | 51.1  | 48.3  | 44.9  | 39.5  | 35.5  | 33.0                     | 30.8  | 23.3  | 14.9  | 9.4   | 6.9   | 5.8   | 3.7   | 1.9   | 0.7   |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata                              | 43.4  | 47.4  | 49.4  | 49.5  | 47.0  | 43.4  | 37.2  | 33.2  | 30.2                     | 27.4  | 21.1  | 15.8  | 12.6  | 10.1  | 7.7   | 4.3   | 2.4   | 0.8   |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue                                     | 48.9  | 53.5  | 57.5  | 58.4  | 56.5  | 51.2  | 46.4  | 42.1  | 40.6                     | 33.2  | 25.2  | 15.7  | 10.4  | 6.9   | 5.2   | 3.6   | 2.5   | 1.3   |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave                                 | 51.8  | 55.7  | 58.4  | 57.9  | 56.5  | 52.3  | 48.5  | 43.1  | 39.1                     | 32.1  | 24.1  | 15.6  | 10.9  | 7.9   | 5.9   | 3.8   | 2.6   | 1.2   |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos                              | 53.8  | 56.6  | 59.0  | 59.2  | 58.4  | 54.1  | 49.3  | 44.1  | 41.5                     | 36.9  | 29.4  | 21.3  | 16.6  | 13.9  | 11.6  | 8.0   | 4.8   | 2.3   |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca                              | 45.3  | 49.3  | 52.7  | 52.6  | 50.1  | 43.8  | 39.3  | 35.6  | 33.0                     | 28.6  | 21.4  | 14.3  | 9.4   | 6.8   | 5.2   | 3.2   | 1.2   | 0.2   |
|      |      |        |           | Más de 5 casos por mes todos los años.    |   |       |       |       |       |       |       |       | Un caso cada 1 a 5 años  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|      |      |        |           | Entre 1 y 5 casos por mes todos los años. |   |       |       |       |       |       |       |       | Un caso cada 5 a 10 años |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|      |      |        |           |   | Un caso cada más de 10 años o sin registros |       |       |       |       |       |       |       |                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Tabla 3.3: Porcentaje de días con tmin inferior a 3 °C (T3).

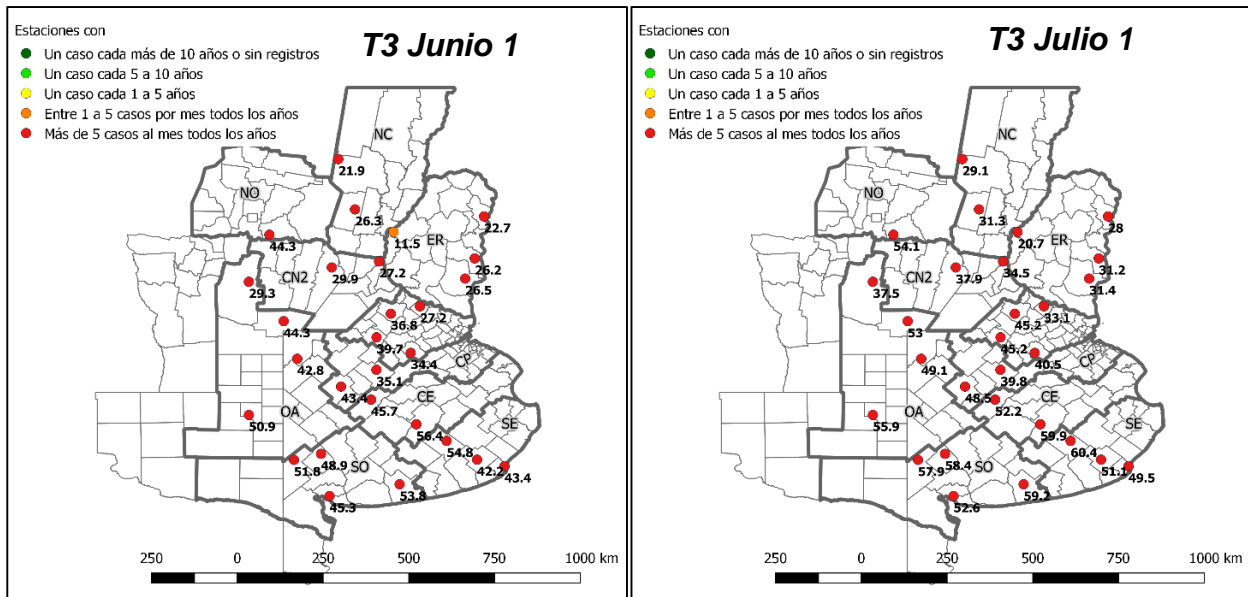


Figura 3.2: Mapas de porcentaje de días con tmin inferior a 3 °C (T3). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).

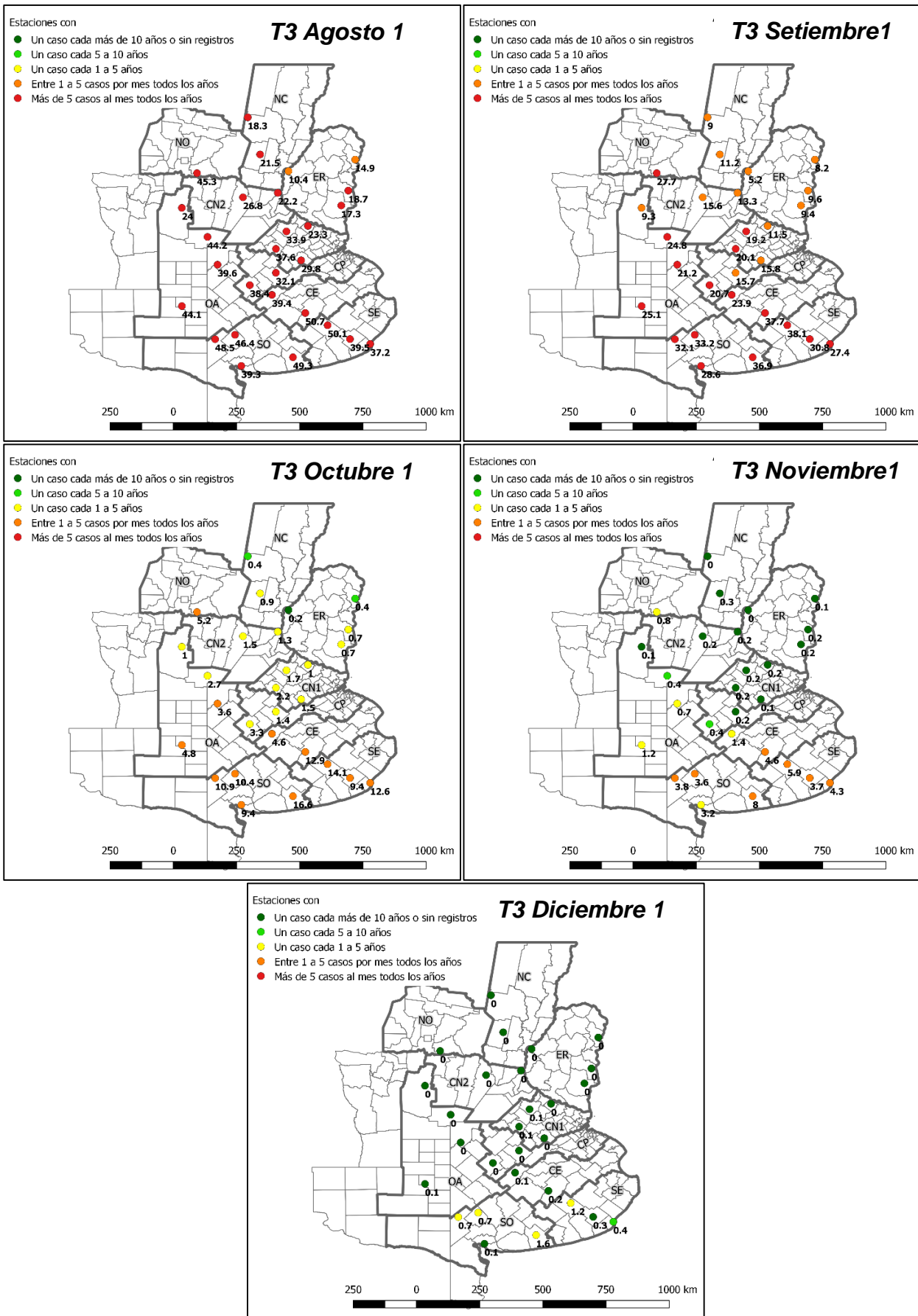


Figura 3.2 (Continuación): Mapas de porcentaje de días con tmin inferior a 3 °C (T3). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).

Los mayores porcentajes (que representan una mayor frecuencia de heladas agrometeorológicas) se encuentran en las estaciones de **Tandil** (61%) y **Azul** (60.9%) en el periodo comprendido entre la tercera década de junio y la segunda de julio. Los valores más altos en las primeras décadas, al igual que en el índice anterior, se registran en **Azul**, pero a diferencia de T0, los mayores porcentajes continúan en **Azul y Tandil** en las décadas sucesivas. A partir de la tercera década de setiembre la mayor probabilidad de ocurrencia de helada agrometeorológica se registra en la estación de **Tres Arroyos**. Las estaciones ubicadas en el **Centro Este (CE)**, **Sud Este (SE)** y **Sud Oeste (SO)** y la estación más al **sur del Oeste Arenoso (OA)** (todas ellas ubicadas al sur del paralelo 36° S), junto con algunas del **Centro Norte 1 (CN1)** (Pergamino y Junín), han registrado al menos un caso de helada agrometeorológica durante el mes de diciembre en todo el periodo considerado.

Al igual que en T0, la estación de **Paraná**, presenta los más bajos porcentajes de días con temperaturas menores a 3 °C. Durante el período estudiado, nunca se registró un caso de helada agrometeorológica luego de la primera década de octubre en dicha estación.

### T30

Este índice representa el porcentaje de días con tmax superior a los 30 °C. La tabla 3.4 y la Figura 3.3 presentan este índice considerando tres décadas consecutivas en el período total analizado.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1                                       | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1                    | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |      |
|------|------|--------|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres                                       | 0.6   | 0.6   | 1.2   | 2.2   | 3.5   | 5.9   | 8.1   | 11.7  | 11.5                     | 12.9  | 14.7  | 19.8  | 25.2  | 28.8  | 34.2  | 40.2  | 47.3  | 54.0  | 58.1 |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela                                     | 0.0   | 0.1   | 0.3   | 0.7   | 1.7   | 3.2   | 5.1   | 6.8   | 6.3                      | 6.1   | 6.9   | 10.9  | 15.1  | 18.9  | 24.4  | 31.9  | 39.0  | 44.9  | 48.9 |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia                                   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.6   | 1.3   | 2.5   | 4.1   | 6.1   | 6.6                      | 5.6   | 5.3   | 8.3   | 13.3  | 17.1  | 23.8  | 31.1  | 41.0  | 48.5  | 55.6 |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana                                      | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.1   | 0.6   | 0.8   | 1.8   | 2.8   | 2.9                      | 2.5   | 2.2   | 4.3   | 7.4   | 10.4  | 16.6  | 22.3  | 29.9  | 35.3  | 42.2 |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay                                   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.2   | 0.4   | 1.1   | 2.1   | 3.0   | 2.9                      | 2.1   | 2.2   | 4.3   | 7.2   | 10.1  | 15.6  | 21.6  | 29.2  | 35.8  | 44.0 |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualeguaych                                 | 0.0   | 0.1   | 0.1   | 0.4   | 0.5   | 1.2   | 2.1   | 3.3   | 3.4                      | 2.6   | 2.3   | 4.2   | 7.3   | 10.9  | 16.3  | 23.8  | 32.1  | 40.3  | 47.2 |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi                                    | 0.2   | 0.1   | 0.3   | 0.4   | 0.6   | 0.9   | 2.4   | 4.4   | 5.5                      | 4.8   | 6.0   | 10.8  | 16.4  | 21.4  | 25.9  | 32.6  | 36.1  | 38.9  | 40.4 |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro                                   | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.1   | 0.2   | 0.2   | 1.0   | 1.5   | 1.7                      | 1.1   | 1.0   | 2.6   | 4.6   | 7.6   | 11.3  | 17.3  | 24.4  | 31.0  | 37.1 |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino                                   | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.2   | 0.2   | 0.3   | 1.3   | 2.2   | 2.4                      | 1.9   | 2.0   | 3.8   | 6.7   | 10.5  | 15.6  | 22.8  | 30.0  | 36.4  | 41.7 |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin                                       | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.0   | 0.6   | 1.8   | 2.2                      | 1.9   | 1.2   | 2.5   | 4.3   | 7.7   | 11.7  | 19.0  | 24.8  | 30.2  | 35.4 |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy                                   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.4   | 1.2   | 1.3                      | 1.0   | 0.6   | 1.4   | 3.3   | 6.6   | 11.1  | 19.1  | 25.8  | 32.2  | 38.9 |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros                                    | 0.0   | 0.1   | 0.3   | 0.4   | 0.5   | 0.7   | 1.7   | 2.9   | 2.9                      | 2.7   | 2.8   | 5.8   | 9.1   | 12.6  | 18.1  | 25.8  | 32.7  | 38.1  | 42.8 |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juare                                | 0.0   | 0.0   | 0.2   | 0.4   | 0.5   | 0.4   | 1.7   | 3.2   | 3.5                      | 3.1   | 3.4   | 7.4   | 11.8  | 16.2  | 21.6  | 29.4  | 36.3  | 40.7  | 43.5 |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio                                  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.4   | 1.3   | 1.3                      | 0.9   | 0.1   | 1.2   | 3.0   | 6.2   | 10.2  | 18.3  | 25.7  | 31.1  | 38.8 |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo                                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.4   | 0.4   | 0.4                      | 0.0   | 0.1   | 0.6   | 1.6   | 4.0   | 7.6   | 13.9  | 18.9  | 24.0  | 30.2 |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto                                  | 0.0   | 0.0   | 0.2   | 0.3   | 0.3   | 0.5   | 1.5   | 3.2   | 3.9                      | 3.6   | 4.8   | 8.8   | 12.9  | 15.5  | 18.6  | 24.0  | 27.4  | 29.6  | 32.4 |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye                                   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.2   | 0.2   | 0.3   | 0.9   | 2.1   | 2.7                      | 3.1   | 3.3   | 5.6   | 8.5   | 12.9  | 18.1  | 25.6  | 30.3  | 36.3  | 40.3 |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | GralVillegas                                | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.5   | 0.9   | 1.2                      | 0.9   | 1.5   | 3.4   | 7.1   | 10.7  | 16.2  | 25.7  | 32.4  | 38.5  | 44.8 |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa                                  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.1   | 0.5                      | 0.7   | 1.9   | 3.1   | 6.1   | 8.8   | 15.5  | 24.3  | 32.1  | 38.6  | 47.6 |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar                                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.3   | 0.3                      | 0.2   | 0.0   | 0.3   | 0.8   | 2.8   | 4.8   | 10.1  | 14.8  | 21.0  | 27.1 |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.2                      | 0.2   | 0.0   | 0.0   | 0.2   | 0.8   | 1.8   | 3.1   | 8.2   | 15.2  | 17.7 |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil                                      | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0                      | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.3   | 0.8   | 1.3   | 3.9   | 8.0   | 12.1  | 17.5 |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce                                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0                      | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.3   | 0.5   | 1.3   | 4.1   | 8.0   | 11.0  | 14.7 |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata                                | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.1   | 0.1                      | 0.1   | 0.0   | 0.2   | 0.4   | 1.3   | 2.2   | 4.9   | 8.0   | 10.4  | 14.1 |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue                                       | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0                      | 0.0   | 0.0   | 0.3   | 0.8   | 1.2   | 2.5   | 6.6   | 12.4  | 17.4  | 24.3 |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave                                   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0                      | 0.0   | 0.0   | 0.4   | 1.7   | 2.9   | 6.2   | 13.3  | 21.0  | 29.3  | 39.1 |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos                                | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0                      | 0.0   | 0.0   | 0.3   | 1.1   | 2.6   | 5.6   | 11.6  | 15.9  | 20.7  | 27.5 |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca                                | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.2   | 0.2   | 0.2                      | 0.3   | 0.9   | 2.0   | 3.4   | 5.8   | 11.2  | 19.6  | 28.0  | 35.3  | 46.8 |
|      |      |        |           | Más de 5 casos por mes todos los años.      |       |       |       |       |       |       |       |       | Un caso cada 1 a 5 años  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |      |        |           | Entre 1 y 5 casos por mes todos los años.   |       |       |       |       |       |       |       |       | Un caso cada 5 a 10 años |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |      |        |           | Un caso cada más de 10 años o sin registros |       |       |       |       |       |       |       |       |                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

Tabla 3.4: Porcentaje de días con tmax superior a los 30 °C (T30).

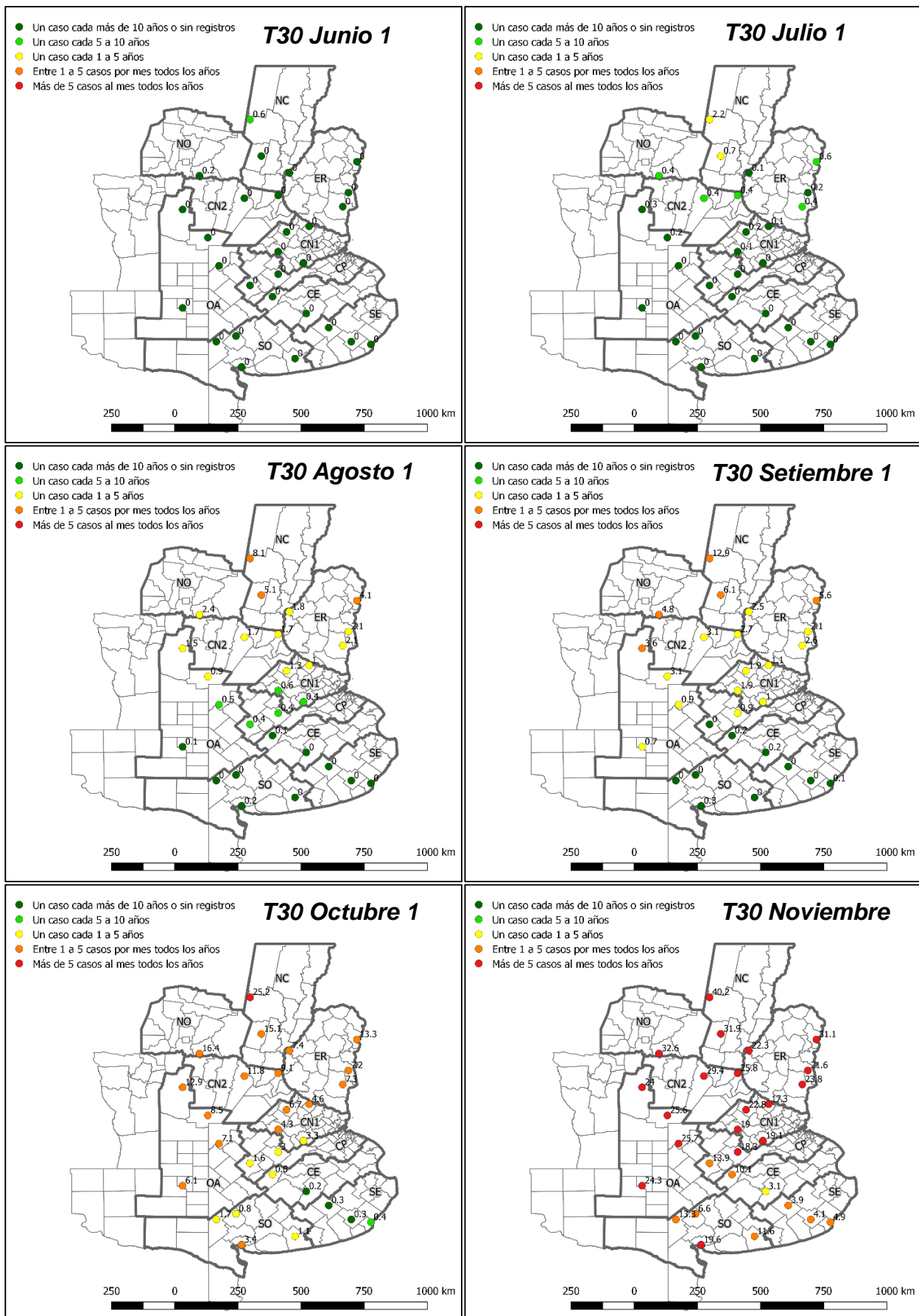


Figura 3.3: Mapas de porcentaje de días con tmax superior a 30 °C (T30). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).



inferior (superior) a TNP10 (TNP90). Finalmente se tomaron promedios de tres décadas consecutivas, en forma móvil.

La metodología utilizada para el cálculo de los índices de  $t_{min}$  fue replicada para los índices de  $t_{max}$ . En este caso, TX10 ("días fríos") representa la frecuencia porcentual de días por década inferior al percentil 10 (TXP10), y TX90 ("días cálidos") representa la frecuencia porcentual de días por década superior al percentil 90 (TXP90).

A diferencia de otros estudios que han analizado índices térmicos similares (Rusticucci y Barrucand, 2004; Vincent et. al, 2005; Rusticucci et. al, 2017) no se encontraron tendencias significativas en los índices calculados a escala decadal. Esto puede ser debido a que el período considerado es diferente, más corto que los estudios anteriores, y posterior al salto climático de 1976 (Trenberth, 1990; Mantua et al, 1997). Una mayor discusión sobre el impacto de los períodos considerados en el cálculo de tendencias de índices de extremos de temperatura puede encontrarse en Collazo (2015) y en Rusticucci et al (2017).

Asimismo se calcularon los desvíos estándar de los índices, encontrándose diferencias en función del índice y época del año considerada. En los puntos siguientes se presentan estas características.

### **TN10 (frecuencia de noches frías inferiores al umbral del percentil 10)**

La mayor variación del índice TN10, estimada a través del desvío estándar, se observa en el inicio del ciclo del cultivo, especialmente en las estaciones ubicadas al sur de la región, y durante el mes de diciembre en todas las estaciones consideradas (Tabla 3.5 y Figura 3.4).

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad     | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3        | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |
|------|------|--------|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NC   | 1    | -29.88 | Ceres         | 10.1          | 8.8   | 9.8   | 9.0   | 9.4   | 10.1         | 8.9   | 7.3   | 7.1   | 6.4   | 7.4   | 8.1   | 7.6   | 8.1   | 6.3   | 6.2   | 7.7   | 7.2   | 8.1   |
| NC   | 1    | -31.20 | Rafaela       | 8.7           | 8.6   | 7.6   | 9.1   | 8.5   | 8.0          | 7.1   | 6.0   | 6.3   | 5.8   | 8.4   | 7.9   | 7.1   | 8.1   | 7.6   | 6.6   | 5.6   | 6.6   | 10.3  |
| ER   | 2    | -31.38 | Concordia     | 10.0          | 7.4   | 7.8   | 8.4   | 8.7   | 8.1          | 7.8   | 7.8   | 8.7   | 7.5   | 8.2   | 7.6   | 7.9   | 8.6   | 7.8   | 6.8   | 6.7   | 9.1   | 11.2  |
| ER   | 2    | -31.79 | Parana        | 7.3           | 7.8   | 6.8   | 7.4   | 6.7   | 6.7          | 7.0   | 6.2   | 7.9   | 7.1   | 8.8   | 9.5   | 8.3   | 8.3   | 7.0   | 7.0   | 7.4   | 7.4   | 8.6   |
| ER   | 2    | -32.48 | C. Uruguay    | 9.5           | 9.4   | 8.4   | 8.4   | 8.1   | 9.0          | 8.3   | 6.7   | 8.0   | 7.0   | 7.0   | 9.0   | 8.4   | 9.1   | 7.1   | 7.4   | 7.0   | 7.0   | 10.4  |
| ER   | 2    | -33.01 | Gualaguaychu  | 8.2           | 8.1   | 7.0   | 7.7   | 7.7   | 7.7          | 7.4   | 7.0   | 8.2   | 7.1   | 6.6   | 8.5   | 8.1   | 8.1   | 7.4   | 6.4   | 6.5   | 7.4   | 10.6  |
| NO   | 3    | -31.86 | Manfredi      | 9.4           | 8.2   | 9.6   | 9.3   | 9.6   | 9.1          | 9.3   | 8.5   | 8.2   | 8.5   | 10.0  | 10.3  | 9.8   | 10.1  | 7.7   | 7.3   | 8.5   | 9.2   | 11.7  |
| CN1  | 4    | -33.74 | San Pedro     | 7.5           | 7.8   | 7.0   | 8.2   | 7.9   | 8.0          | 7.7   | 6.9   | 7.6   | 6.6   | 7.1   | 7.8   | 7.0   | 6.8   | 6.2   | 6.0   | 7.5   | 7.0   | 11.7  |
| CN1  | 4    | -33.93 | Pergamino     | 8.6           | 8.6   | 8.1   | 7.9   | 8.5   | 8.3          | 7.4   | 6.8   | 7.6   | 6.2   | 7.1   | 6.6   | 6.6   | 6.6   | 6.8   | 8.3   | 9.0   | 8.3   | 11.6  |
| CN1  | 4    | -34.55 | Junin         | 8.5           | 8.1   | 8.0   | 7.5   | 7.4   | 7.5          | 7.1   | 6.4   | 7.2   | 7.2   | 8.5   | 8.9   | 7.8   | 8.1   | 7.8   | 7.2   | 7.1   | 6.6   | 11.3  |
| CN1  | 4    | -34.96 | Chivilcoy     | 7.8           | 9.3   | 9.5   | 9.3   | 9.8   | 8.5          | 6.4   | 5.9   | 7.2   | 6.3   | 6.5   | 7.3   | 7.4   | 7.1   | 5.5   | 5.3   | 5.6   | 7.2   | 12.1  |
| CN2  | 5    | -32.56 | Oliveros      | 7.5           | 7.9   | 7.5   | 7.5   | 6.9   | 8.5          | 7.4   | 6.0   | 7.4   | 7.2   | 7.3   | 8.1   | 6.8   | 8.6   | 7.1   | 6.2   | 5.5   | 6.0   | 9.2   |
| CN2  | 5    | -32.72 | Marcos Juarez | 7.1           | 7.2   | 7.0   | 8.0   | 8.0   | 7.7          | 7.2   | 6.9   | 8.4   | 7.8   | 7.0   | 6.8   | 7.0   | 7.6   | 7.4   | 6.5   | 6.3   | 6.3   | 9.8   |
| CP   | 6    | -35.40 | 9 de Julio    | 8.5           | 9.5   | 9.6   | 9.5   | 9.6   | 8.5          | 10.0  | 9.4   | 10.1  | 6.8   | 8.3   | 10.1  | 10.1  | 9.0   | 7.7   | 7.7   | 8.1   | 9.7   | 10.1  |
| CP   | 6    | -35.84 | Pehuajo       | 9.9           | 8.9   | 9.5   | 9.4   | 11.2  | 11.5         | 8.0   | 8.1   | 8.9   | 9.1   | 8.9   | 11.4  | 8.6   | 7.5   | 6.5   | 6.2   | 5.8   | 7.2   | 11.3  |
| OA   | 7    | -33.09 | Rio Cuarto    | 7.0           | 7.3   | 8.0   | 9.0   | 8.6   | 8.4          | 7.5   | 5.4   | 7.2   | 7.5   | 9.1   | 8.8   | 8.0   | 6.7   | 6.4   | 6.8   | 7.3   | 7.0   | 9.9   |
| OA   | 7    | -34.13 | Laboulaye     | 8.2           | 8.3   | 8.7   | 9.0   | 9.5   | 9.3          | 8.0   | 6.7   | 7.0   | 6.8   | 9.0   | 8.4   | 7.1   | 7.6   | 7.3   | 6.9   | 7.6   | 7.9   | 11.1  |
| OA   | 7    | -35.12 | Gral Villagas | 8.5           | 8.0   | 8.3   | 8.0   | 10.0  | 9.0          | 7.3   | 6.7   | 7.3   | 5.4   | 6.6   | 7.6   | 7.3   | 7.3   | 6.5   | 5.8   | 5.0   | 5.6   | 9.2   |
| OA   | 7    | -36.59 | Santa Rosa    | 8.8           | 8.1   | 8.4   | 9.2   | 9.2   | 8.2          | 6.7   | 6.4   | 7.6   | 5.5   | 7.2   | 7.5   | 6.4   | 5.8   | 5.0   | 6.1   | 7.2   | 6.0   | 6.0   |
| CE   | 8    | -36.19 | Bolivar       | 8.6           | 9.9   | 12.0  | 11.9  | 10.7  | 9.9          | 9.8   | 8.2   | 10.0  | 8.5   | 9.7   | 11.5  | 10.6  | 8.3   | 6.4   | 6.1   | 6.2   | 7.0   | 9.9   |
| CE   | 8    | -36.83 | Azul          | 8.7           | 9.7   | 10.3  | 9.7   | 10.6  | 10.5         | 9.0   | 8.6   | 7.9   | 7.4   | 8.3   | 10.1  | 8.2   | 7.4   | 7.1   | 8.1   | 6.6   | 7.2   | 10.2  |
| SE   | 9    | -37.27 | Tandil        | 9.4           | 9.7   | 9.7   | 9.8   | 11.5  | 12.5         | 12.6  | 10.0  | 8.1   | 7.7   | 9.3   | 10.2  | 7.8   | 6.7   | 7.8   | 8.9   | 8.5   | 9.3   | 12.2  |
| SE   | 9    | -37.76 | Balcarce      | 8.6           | 7.2   | 6.8   | 7.3   | 8.4   | 7.1          | 7.9   | 8.1   | 8.7   | 6.6   | 6.6   | 7.5   | 5.8   | 6.7   | 6.3   | 7.1   | 6.5   | 7.7   | 10.9  |
| SE   | 9    | -37.93 | Mar De Plata  | 7.0           | 6.3   | 6.9   | 8.4   | 10.0  | 8.8          | 7.0   | 6.1   | 6.8   | 6.7   | 7.4   | 8.0   | 6.3   | 5.7   | 6.6   | 6.6   | 5.8   | 6.9   | 10.6  |
| SO   | 10   | -37.61 | Pigue         | 10.2          | 10.5  | 9.7   | 9.4   | 8.8   | 9.2          | 8.4   | 8.7   | 8.4   | 7.2   | 8.0   | 9.0   | 7.8   | 7.8   | 7.3   | 7.0   | 8.4   | 8.8   | 10.7  |
| SO   | 10   | -37.77 | Bordenave     | 8.2           | 8.8   | 9.7   | 9.4   | 10.0  | 8.6          | 6.0   | 6.6   | 7.1   | 5.1   | 7.5   | 8.5   | 7.2   | 6.2   | 6.1   | 6.4   | 6.3   | 5.6   | 10.1  |
| SO   | 10   | -38.41 | Tres Arroyos  | 10.4          | 11.4  | 12.0  | 10.6  | 10.8  | 8.6          | 7.4   | 7.7   | 9.6   | 7.1   | 7.5   | 8.2   | 7.3   | 5.8   | 5.3   | 5.2   | 5.4   | 6.8   | 10.3  |
| SO   | 10   | -38.72 | Bahia Blanca  | 8.2           | 8.8   | 9.7   | 9.4   | 10.0  | 8.6          | 6.0   | 6.6   | 7.1   | 5.1   | 7.5   | 8.5   | 7.2   | 6.2   | 6.1   | 6.4   | 6.3   | 5.6   | 10.1  |
|      |      |        |               | Mayores a 11  |       |       |       |       | Entre 9 y 10 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|      |      |        |               | Entre 10 y 11 |       |       |       |       | Entre 8 y 9  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|      |      |        |               | Menores a 8   |       |       |       |       |              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Tabla 3.5: Desvío estándar del porcentaje de días con tmin inferior al percentil 10 (TN10). Los colores son una referencia para identificar en que rango se encuentran los valores.

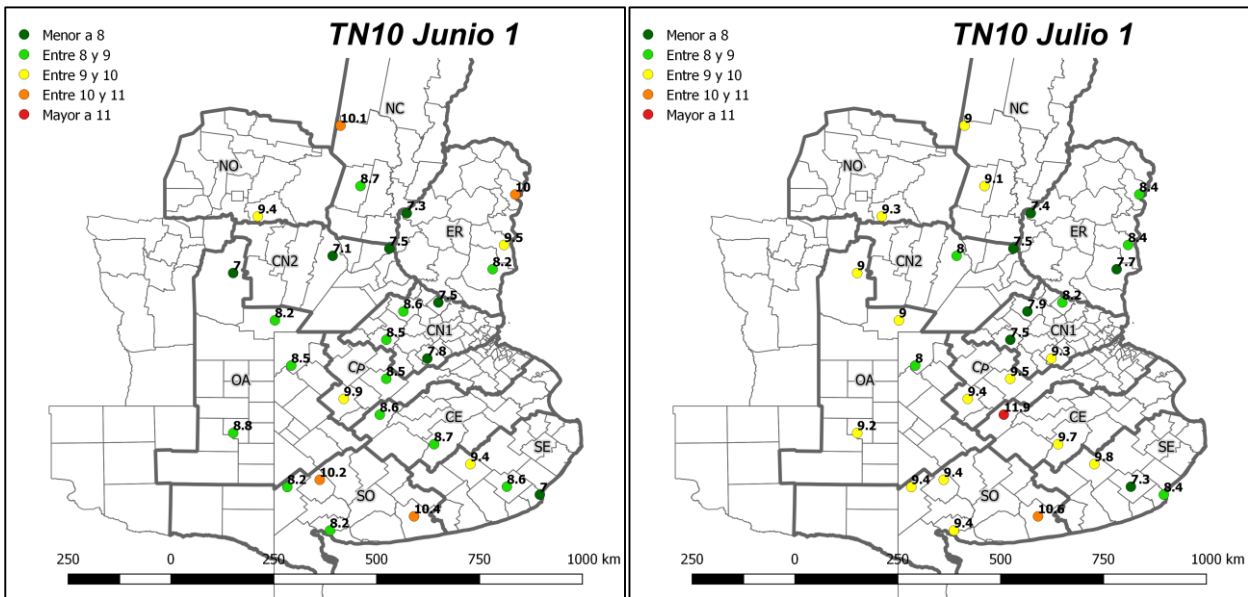
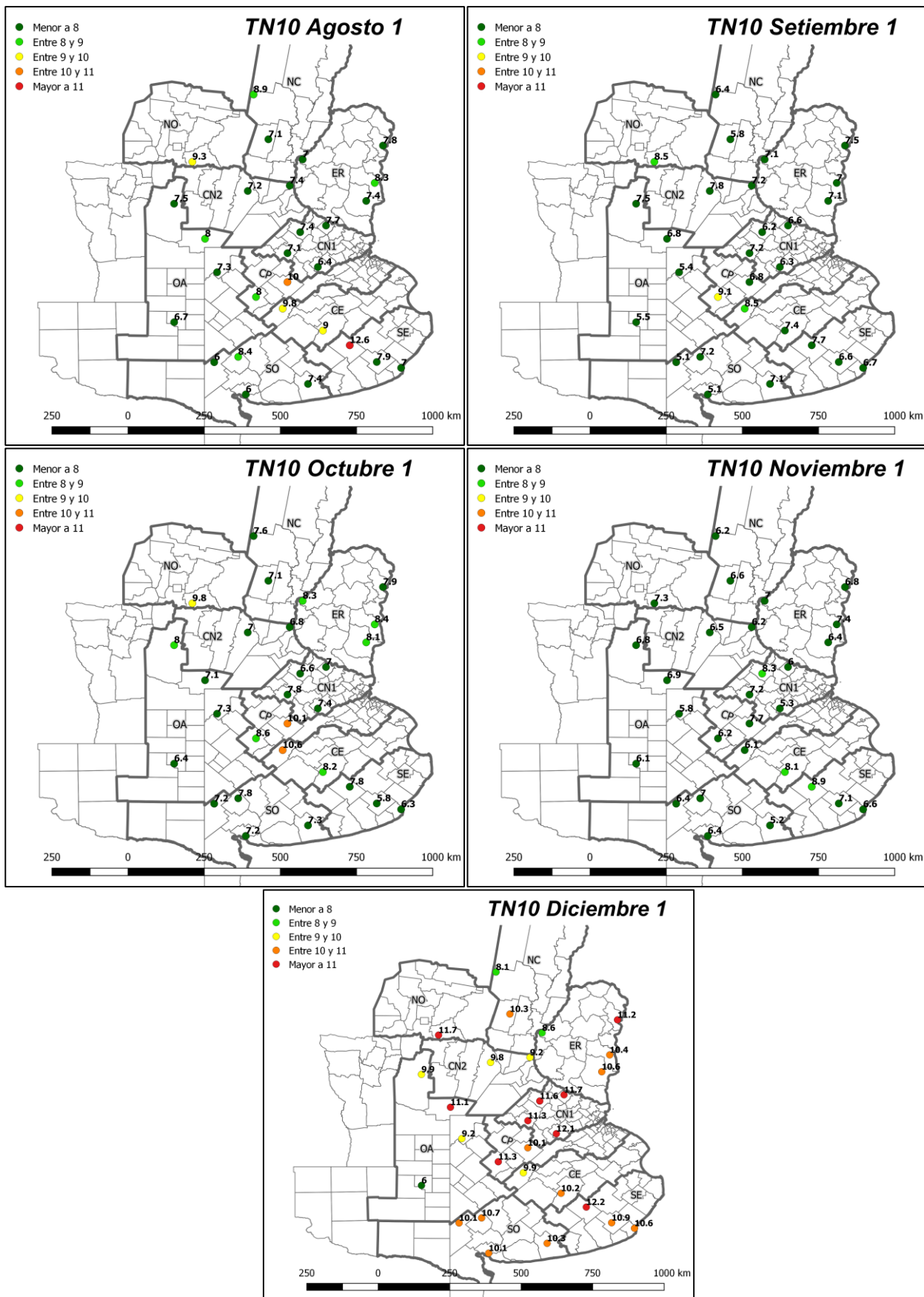


Figura 3.4: Mapas de desvío estándar de días con tmin inferior al percentil 10 (TN10). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).





**Figura 3.4 (Continuación):** Mapas de desvío estándar de días con tmin inferior al percentil 10 (TN10). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).

## TN90 (frecuencia de noches cálidas superiores al umbral del percentil 90)

La variación de la frecuencia de mínimas cálidas (noches cálidas), al igual que el caso de las mínimas frías, es mayor en el inicio del período del cultivo de trigo, pero a diferencia de las noches frías, esta característica se observa especialmente en las estaciones de la región norte, que mantienen una elevada variación de TN90 a lo largo de todo el ciclo (Tabla 3.6 y Figura 3.5). Otra diferencia se observa en el mes de diciembre, que no presenta alta variabilidad, excepto algunas estaciones del norte (como Manfredi) o de la región Entre Ríos (Concordia)

| Zona | Lat | Long   | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1        | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |      |
|------|-----|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| NC   | 1   | -29.88 | -61.93    | Ceres         | 9.6   | 9.0   | 10.7  | 8.9   | 8.7   | 9.6   | 8.2   | 8.5   | 10.2         | 9.1   | 9.1   | 8.3   | 7.4   | 7.0   | 8.4   | 10.5  | 9.0   | 9.0   | 10.2 |
| NC   | 1   | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | 9.7   | 9.5   | 9.5   | 9.2   | 8.1   | 10.0  | 8.7   | 9.0   | 9.7          | 9.2   | 9.9   | 9.7   | 9.1   | 7.9   | 9.0   | 10.7  | 8.0   | 8.1   | 8.9  |
| ER   | 2   | -31.38 | -58.12    | Concordia     | 10.5  | 9.1   | 8.3   | 8.9   | 8.3   | 9.4   | 9.3   | 9.1   | 8.9          | 7.7   | 8.7   | 7.9   | 10.5  | 12.1  | 11.9  | 9.5   | 9.8   | 10.9  | 11.1 |
| ER   | 2   | -31.79 | -60.48    | Parana        | 9.4   | 8.0   | 7.9   | 8.6   | 7.8   | 8.2   | 8.1   | 8.4   | 9.5          | 8.9   | 9.3   | 7.7   | 7.2   | 7.2   | 7.5   | 7.1   | 5.8   | 6.2   | 8.8  |
| ER   | 2   | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay     | 10.4  | 8.3   | 9.0   | 10.0  | 8.1   | 9.6   | 9.4   | 8.8   | 10.1         | 9.3   | 9.9   | 9.1   | 8.0   | 7.0   | 8.2   | 11.0  | 9.9   | 9.7   | 8.2  |
| ER   | 2   | -33.01 | -58.61    | Gualedayacu   | 10.2  | 8.6   | 8.5   | 9.2   | 7.8   | 9.7   | 8.9   | 9.0   | 9.4          | 8.2   | 8.7   | 8.8   | 9.6   | 10.5  | 11.9  | 9.8   | 8.3   | 7.6   | 8.4  |
| NO   | 3   | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | 10.0  | 10.1  | 11.0  | 10.7  | 9.3   | 10.2  | 8.9   | 8.9   | 9.2          | 9.5   | 9.3   | 10.6  | 10.2  | 8.7   | 9.9   | 10.2  | 10.7  | 10.3  | 11.8 |
| CN1  | 4   | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | 9.0   | 8.9   | 9.2   | 9.1   | 8.8   | 10.0  | 8.1   | 8.6   | 9.3          | 8.8   | 7.9   | 6.7   | 7.5   | 5.9   | 6.9   | 8.2   | 7.4   | 8.5   | 8.2  |
| CN1  | 4   | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | 8.7   | 8.6   | 9.1   | 9.2   | 8.0   | 10.6  | 8.7   | 8.8   | 9.1          | 7.7   | 7.5   | 7.1   | 6.2   | 6.3   | 7.4   | 8.5   | 8.4   | 8.4   | 9.5  |
| CN1  | 4   | -34.55 | -60.93    | Junin         | 8.4   | 7.4   | 9.0   | 9.9   | 8.6   | 10.2  | 8.9   | 9.2   | 9.6          | 7.7   | 8.6   | 8.7   | 7.4   | 7.6   | 8.5   | 8.3   | 7.9   | 7.7   | 8.3  |
| CN1  | 4   | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | 8.2   | 7.3   | 8.7   | 9.9   | 7.9   | 10.0  | 8.7   | 8.5   | 8.5          | 7.5   | 8.4   | 8.4   | 6.7   | 7.0   | 7.9   | 8.7   | 9.0   | 8.5   | 7.8  |
| CN2  | 5   | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | 10.0  | 8.9   | 8.9   | 9.0   | 9.0   | 10.2  | 8.5   | 8.8   | 9.3          | 8.5   | 8.3   | 8.8   | 8.3   | 7.5   | 8.0   | 9.7   | 7.5   | 7.6   | 8.3  |
| CN2  | 5   | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez | 9.6   | 9.0   | 8.5   | 8.2   | 7.6   | 10.2  | 8.5   | 9.1   | 9.3          | 9.0   | 8.0   | 7.5   | 6.3   | 6.1   | 7.4   | 7.5   | 6.2   | 6.7   | 9.6  |
| CP   | 6   | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | 10.0  | 10.0  | 8.9   | 9.6   | 8.3   | 10.1  | 9.6   | 9.4   | 8.9          | 7.9   | 8.4   | 9.3   | 8.0   | 6.8   | 8.6   | 8.4   | 8.5   | 7.7   | 6.8  |
| CP   | 6   | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | 7.9   | 7.8   | 9.5   | 9.4   | 8.5   | 10.2  | 9.7   | 8.2   | 7.8          | 7.8   | 7.8   | 8.4   | 6.5   | 7.3   | 7.9   | 7.3   | 6.8   | 6.4   | 7.2  |
| OA   | 7   | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | 9.7   | 10.4  | 10.6  | 9.8   | 9.4   | 9.6   | 9.1   | 7.7   | 7.3          | 8.3   | 8.2   | 9.4   | 7.7   | 5.3   | 6.0   | 6.3   | 5.2   | 7.3   | 8.1  |
| OA   | 7   | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | 9.2   | 8.8   | 10.2  | 10.8  | 8.7   | 9.4   | 8.0   | 7.6   | 8.6          | 7.7   | 7.8   | 7.6   | 7.0   | 6.0   | 6.4   | 7.9   | 8.5   | 8.8   | 10.0 |
| OA   | 7   | -35.12 | -63.01    | GralVillegas  | 9.0   | 9.0   | 9.5   | 8.9   | 7.4   | 9.2   | 8.3   | 7.4   | 8.7          | 8.9   | 7.2   | 6.3   | 6.9   | 7.2   | 7.9   | 7.8   | 8.1   | 8.8   | 8.5  |
| OA   | 7   | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | 8.7   | 8.6   | 8.2   | 9.5   | 8.1   | 8.5   | 7.0   | 6.0   | 7.5          | 7.4   | 5.4   | 5.3   | 4.7   | 4.7   | 6.6   | 8.1   | 7.1   | 6.9   | 8.4  |
| CE   | 8   | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | 8.6   | 8.9   | 8.8   | 10.3  | 8.5   | 8.6   | 9.5   | 8.8   | 8.5          | 8.9   | 9.4   | 10.1  | 7.7   | 7.1   | 8.4   | 10.2  | 9.6   | 8.6   | 8.5  |
| CE   | 8   | -36.83 | -59.89    | Azul          | 7.2   | 6.8   | 9.6   | 9.1   | 7.8   | 9.6   | 8.3   | 8.9   | 9.6          | 8.3   | 8.8   | 9.6   | 8.9   | 7.9   | 7.1   | 7.5   | 7.3   | 7.2   | 7.4  |
| SE   | 9   | -37.27 | -59.10    | Tandil        | 7.1   | 6.7   | 8.6   | 9.2   | 7.8   | 9.4   | 9.0   | 8.8   | 9.7          | 7.9   | 8.4   | 8.4   | 8.2   | 7.2   | 7.7   | 7.7   | 8.4   | 8.5   | 8.3  |
| SE   | 9   | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | 8.1   | 7.5   | 9.0   | 9.3   | 8.5   | 9.2   | 9.0   | 8.6   | 8.0          | 6.4   | 8.4   | 8.8   | 8.1   | 6.3   | 6.9   | 8.0   | 8.3   | 10.6  | 9.6  |
| SE   | 9   | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | 7.3   | 7.0   | 7.4   | 7.8   | 6.7   | 8.2   | 8.4   | 7.8   | 7.7          | 7.4   | 9.0   | 10.4  | 10.3  | 7.5   | 7.8   | 7.9   | 8.8   | 10.2  | 10.6 |
| SO   | 10  | -37.61 | -62.39    | Pigue         | 9.5   | 8.3   | 8.5   | 8.3   | 9.4   | 11.4  | 8.0   | 9.6   | 7.8          | 8.2   | 6.2   | 6.2   | 6.7   | 7.3   | 5.8   | 5.4   | 8.0   | 11.3  | 10.5 |
| SO   | 10  | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | 10.1  | 8.9   | 8.2   | 8.7   | 8.4   | 10.8  | 12.1  | 8.3   | 8.2          | 8.7   | 7.0   | 6.8   | 6.9   | 7.9   | 8.4   | 7.3   | 7.7   | 7.2   | 8.9  |
| SO   | 10  | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | 8.8   | 8.1   | 8.4   | 8.9   | 8.3   | 9.9   | 8.7   | 7.4   | 6.9          | 7.0   | 7.3   | 7.4   | 5.8   | 5.5   | 5.6   | 6.3   | 7.8   | 9.6   | 8.6  |
| SO   | 10  | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | 6.9   | 6.1   | 6.5   | 7.0   | 8.1   | 8.1   | 8.2   | 7.4   | 5.7          | 5.7   | 5.8   | 6.6   | 6.1   | 6.2   | 7.4   | 7.8   | 8.0   | 7.8   | 6.0  |
|      |     |        |           | Mayores a 11  |       |       |       |       |       |       |       |       | Entre 9 y 10 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |     |        |           | Entre 10 y 11 |       |       |       |       |       |       |       |       | Entre 8 y 9  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |     |        |           | Menores a 8   |       |       |       |       |       |       |       |       |              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

Tabla 3.6 Desvío estándar del porcentaje de días con tmin superior al percentil 90 (TN90). Los colores son una referencia para identificar en que rango se encuentran los valores.

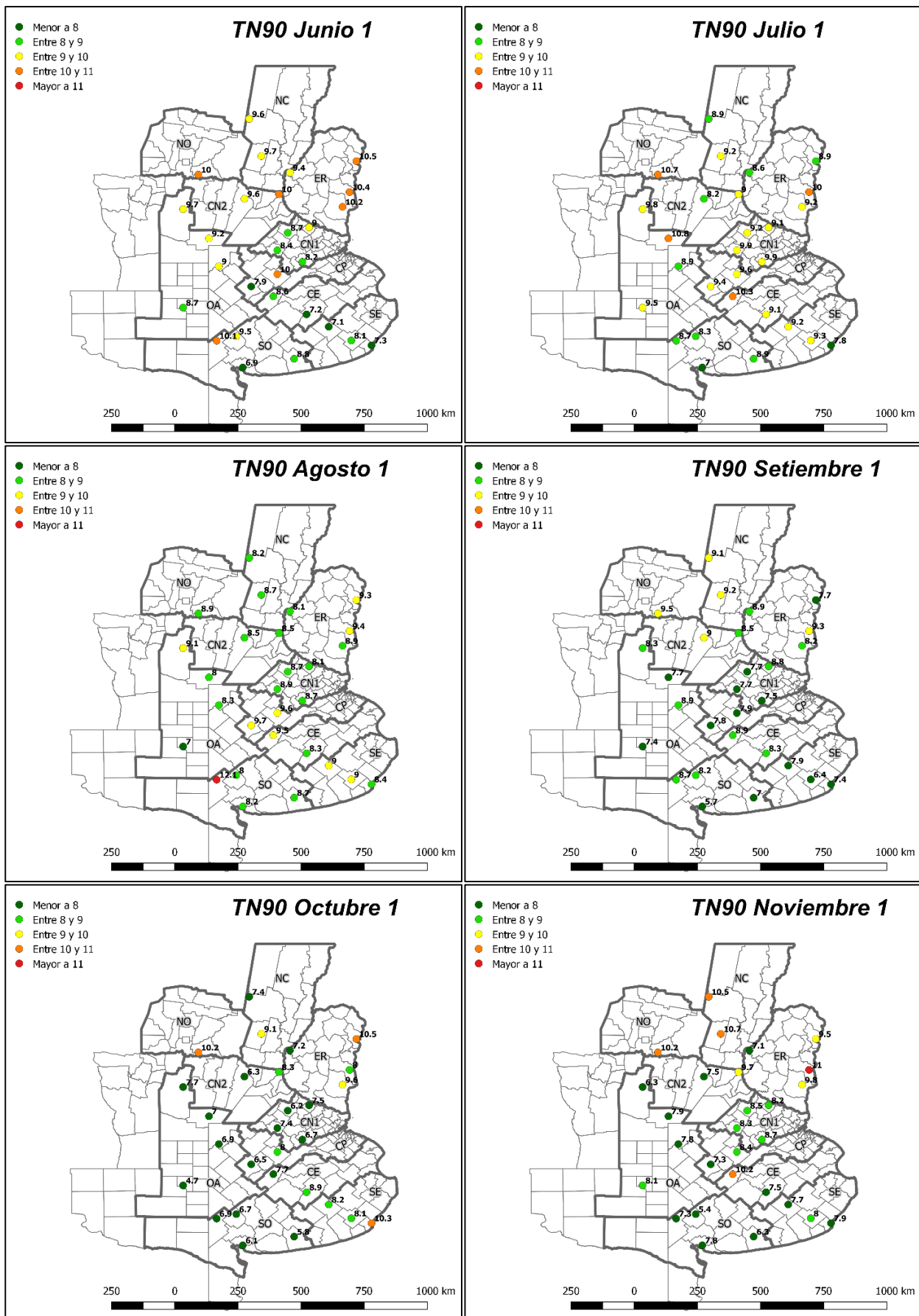


Figura 3.5: Mapas de desvío estándar de días con tmin superior al percentil 90 (TN90). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).



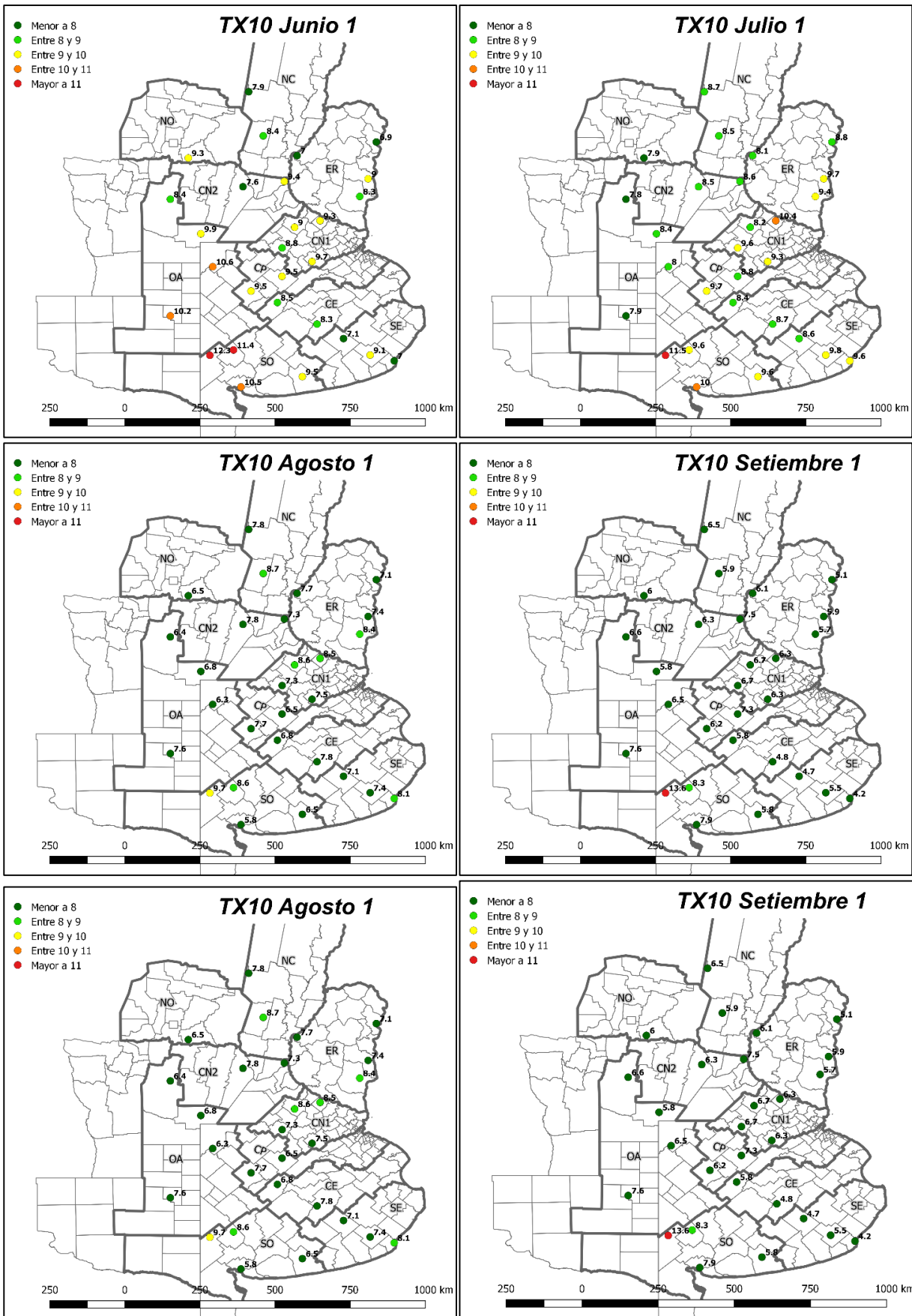


Figura 3.6: Mapas de Desvío estándar del porcentaje de días con  $t_{max}$  inferior al percentil 10 (TX10). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).

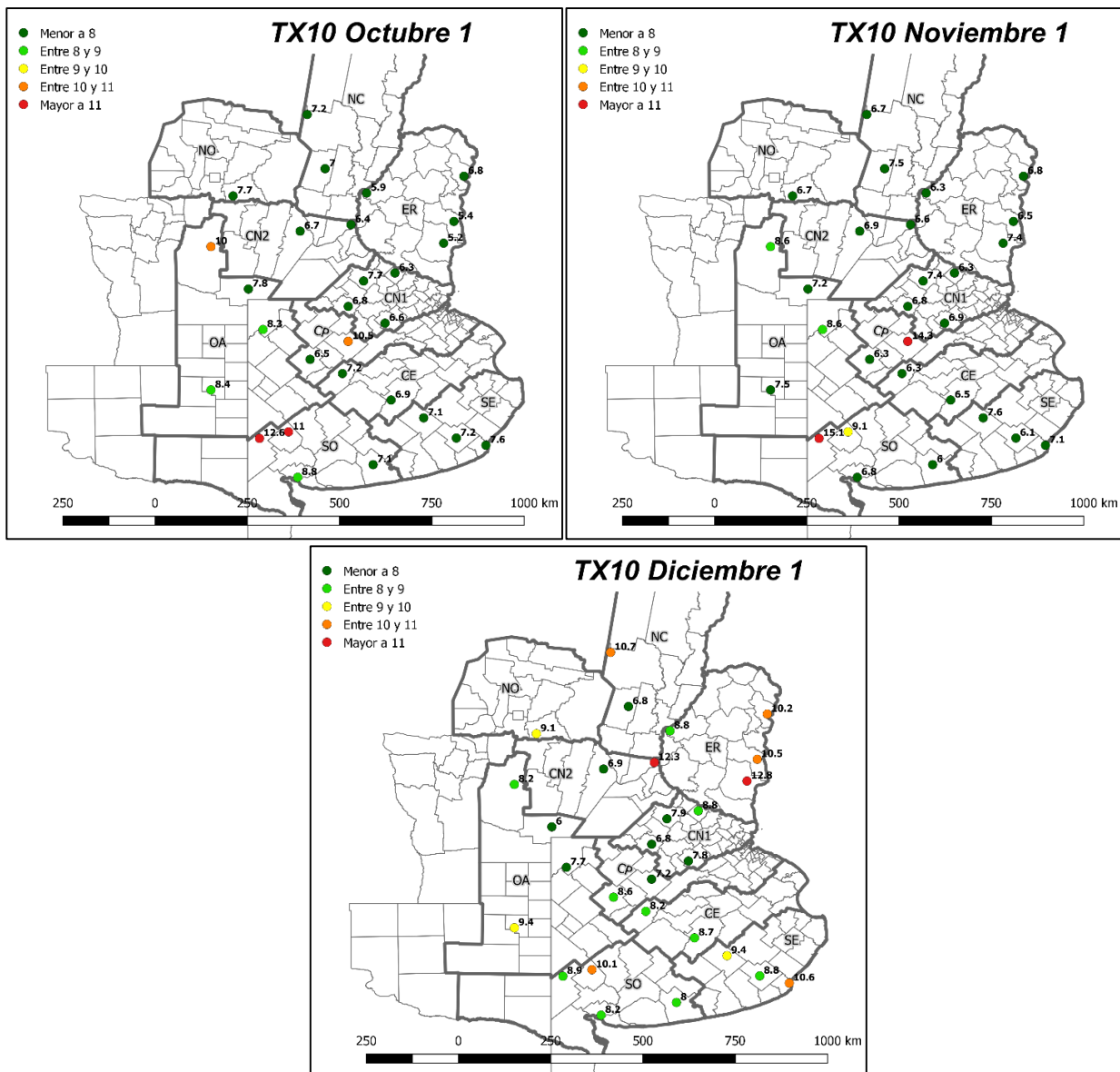


Figura 3.6 (Continuación): Mapas de desvío estándar del porcentaje de días con  $t_{max}$  inferior al percentil 10 (TX10). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).

### TX90 (frecuencia de días cálidos superiores al umbral del percentil 90)

El índice TX90 (días cálidos) presenta dos períodos de alta variabilidad, el primero, desde principios de julio hasta mediados de agosto. El segundo, corresponde a los meses de noviembre y diciembre (Tabla 3.8 y Figura 3.7). Esto se observa, en términos generales, para todas las localidades. Por otro lado, se observa que la variabilidad de los extremos de días cálidos (TX90) son mayores a los observados para las noches cálidas (TN90).

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1        | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |      |
|------|------|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres         | 7.5   | 8.8   | 9.5   | 9.5   | 8.0   | 8.6          | 8.1   | 8.5   | 7.6   | 6.6   | 6.3   | 7.2   | 4.4   | 6.2   | 7.0   | 8.2   | 8.0   | 8.9   | 9.1  |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | 6.9   | 7.9   | 9.0   | 8.7   | 8.2   | 9.5          | 8.6   | 8.6   | 8.6   | 7.9   | 7.5   | 7.3   | 5.6   | 6.2   | 6.9   | 8.9   | 8.9   | 9.5   | 9.8  |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia     | 7.6   | 7.7   | 7.9   | 8.8   | 8.0   | 9.4          | 7.8   | 8.4   | 8.4   | 7.8   | 6.8   | 6.7   | 6.1   | 6.8   | 6.4   | 7.9   | 7.8   | 10.7  | 9.9  |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana        | 9.0   | 9.3   | 10.2  | 9.8   | 8.8   | 8.6          | 7.5   | 8.1   | 7.6   | 7.9   | 7.9   | 7.6   | 6.8   | 7.1   | 7.9   | 8.8   | 8.8   | 9.7   | 8.9  |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C. Uruguay    | 8.3   | 8.7   | 9.6   | 9.2   | 8.8   | 10.1         | 8.8   | 7.9   | 7.4   | 6.8   | 6.4   | 6.4   | 6.3   | 6.3   | 6.3   | 8.4   | 7.0   | 9.0   | 10.0 |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualeguaychu  | 8.2   | 8.9   | 9.0   | 9.1   | 8.4   | 9.5          | 8.6   | 8.1   | 7.1   | 6.5   | 6.3   | 6.9   | 7.3   | 7.4   | 7.8   | 9.9   | 7.4   | 9.8   | 10.2 |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | 10.6  | 11.8  | 12.4  | 12.3  | 10.9  | 12.0         | 8.8   | 7.7   | 7.2   | 6.3   | 6.2   | 6.9   | 5.8   | 6.8   | 8.2   | 9.1   | 8.7   | 9.8   | 10.3 |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | 6.1   | 8.5   | 10.9  | 10.1  | 8.3   | 10.5         | 9.4   | 8.0   | 7.6   | 7.1   | 7.3   | 7.7   | 7.6   | 7.8   | 9.3   | 12.0  | 10.3  | 10.0  | 9.6  |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | 7.5   | 8.1   | 9.6   | 12.4  | 12.2  | 13.0         | 9.1   | 7.7   | 7.0   | 6.1   | 6.0   | 7.6   | 8.6   | 8.9   | 9.7   | 11.7  | 8.9   | 8.9   | 9.3  |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin         | 7.8   | 8.5   | 8.7   | 11.8  | 10.9  | 13.1         | 9.3   | 7.4   | 7.3   | 6.6   | 6.6   | 7.9   | 7.6   | 7.4   | 9.7   | 12.3  | 8.6   | 8.9   | 8.9  |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | 6.8   | 7.8   | 8.8   | 11.9  | 11.3  | 12.2         | 7.9   | 7.1   | 7.3   | 6.8   | 5.9   | 6.7   | 6.5   | 6.7   | 8.5   | 10.8  | 8.2   | 8.8   | 10.1 |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | 9.2   | 9.9   | 10.1  | 9.3   | 8.3   | 9.7          | 8.1   | 8.6   | 8.1   | 7.8   | 7.9   | 7.8   | 7.4   | 7.8   | 10.7  | 13.7  | 10.1  | 10.0  | 9.5  |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez | 6.9   | 8.8   | 10.1  | 13.0  | 11.7  | 12.3         | 8.8   | 8.4   | 8.2   | 6.9   | 7.2   | 7.2   | 6.3   | 7.6   | 9.3   | 11.1  | 9.2   | 10.6  | 11.7 |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | 6.9   | 8.8   | 9.0   | 7.7   | 7.7   | 9.6          | 8.2   | 7.5   | 7.1   | 6.7   | 6.0   | 7.5   | 6.2   | 6.5   | 8.8   | 11.1  | 11.1  | 10.9  | 11.4 |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | 7.8   | 8.3   | 9.4   | 12.8  | 11.8  | 12.6         | 9.7   | 8.5   | 8.4   | 8.0   | 7.0   | 5.7   | 5.6   | 6.0   | 7.5   | 9.9   | 9.0   | 9.7   | 10.9 |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | 7.4   | 8.0   | 9.1   | 12.0  | 10.5  | 12.0         | 8.4   | 7.3   | 6.8   | 5.8   | 5.6   | 6.6   | 6.3   | 6.3   | 6.2   | 6.3   | 5.1   | 7.9   | 9.0  |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | 8.1   | 8.7   | 10.0  | 13.2  | 12.2  | 12.4         | 8.7   | 7.1   | 7.0   | 6.5   | 7.7   | 7.8   | 7.8   | 8.2   | 9.8   | 12.0  | 9.3   | 10.7  | 10.0 |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | Gral Villegas | 10.0  | 9.4   | 8.3   | 11.8  | 10.9  | 11.3         | 7.4   | 7.8   | 7.2   | 7.0   | 7.5   | 6.8   | 7.1   | 7.5   | 8.8   | 9.7   | 8.9   | 10.7  | 11.8 |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | 7.7   | 8.0   | 7.0   | 11.1  | 11.2  | 10.9         | 8.9   | 8.9   | 9.0   | 7.9   | 7.7   | 7.0   | 7.2   | 7.6   | 8.7   | 9.7   | 9.1   | 8.8   | 10.2 |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | 8.4   | 10.1  | 10.2  | 12.4  | 11.2  | 10.7         | 6.3   | 7.3   | 7.2   | 6.8   | 6.2   | 6.2   | 5.9   | 6.6   | 8.7   | 10.3  | 10.5  | 10.8  | 12.1 |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul          | 7.8   | 8.1   | 9.9   | 7.8   | 8.9   | 10.0         | 8.6   | 7.5   | 7.9   | 6.7   | 6.8   | 6.1   | 6.3   | 7.0   | 7.6   | 7.9   | 9.3   | 10.1  | 10.1 |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil        | 8.2   | 8.4   | 8.7   | 7.6   | 8.0   | 9.5          | 8.7   | 7.6   | 8.6   | 7.0   | 7.8   | 6.5   | 7.1   | 7.1   | 6.6   | 8.0   | 8.3   | 9.5   | 8.1  |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | 8.9   | 8.3   | 9.5   | 7.2   | 7.7   | 9.0          | 9.1   | 7.8   | 9.0   | 7.9   | 8.5   | 6.8   | 6.7   | 6.9   | 7.3   | 8.1   | 7.9   | 9.7   | 8.5  |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | 8.0   | 7.0   | 8.2   | 7.8   | 7.6   | 8.7          | 8.2   | 8.6   | 9.6   | 7.3   | 7.8   | 7.1   | 6.8   | 6.8   | 7.5   | 8.0   | 8.8   | 8.4   | 8.0  |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue         | 8.3   | 8.9   | 9.7   | 11.7  | 10.8  | 10.8         | 7.2   | 8.2   | 9.0   | 7.4   | 6.7   | 7.1   | 8.1   | 7.0   | 7.7   | 8.5   | 8.8   | 9.2   | 9.7  |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | 9.3   | 10.3  | 10.9  | 14.8  | 13.8  | 12.3         | 8.6   | 9.1   | 9.1   | 8.4   | 8.1   | 8.2   | 8.6   | 8.0   | 8.6   | 9.1   | 9.1   | 9.4   | 9.8  |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | 8.6   | 9.3   | 10.6  | 9.3   | 8.5   | 8.4          | 7.9   | 8.8   | 9.4   | 7.0   | 8.5   | 9.1   | 8.9   | 7.9   | 8.9   | 10.4  | 9.4   | 8.5   | 7.8  |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | 6.7   | 7.5   | 9.0   | 8.5   | 9.2   | 9.1          | 8.6   | 7.5   | 7.3   | 6.8   | 7.8   | 8.6   | 9.3   | 8.0   | 8.6   | 9.5   | 9.3   | 9.2   | 8.5  |
|      |      |        |           | Mayores a 11  |       |       |       |       |       | Entre 9 y 10 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |      |        |           | Entre 10 y 11 |       |       |       |       |       | Entre 8 y 9  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|      |      |        |           | Menores a 8   |       |       |       |       |       |              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

Tabla 3.8 Desvío estándar del porcentaje de días con tmax superior al percentil 90 (TX90). Los colores son una referencia para identificar en que rango se encuentran los valores.

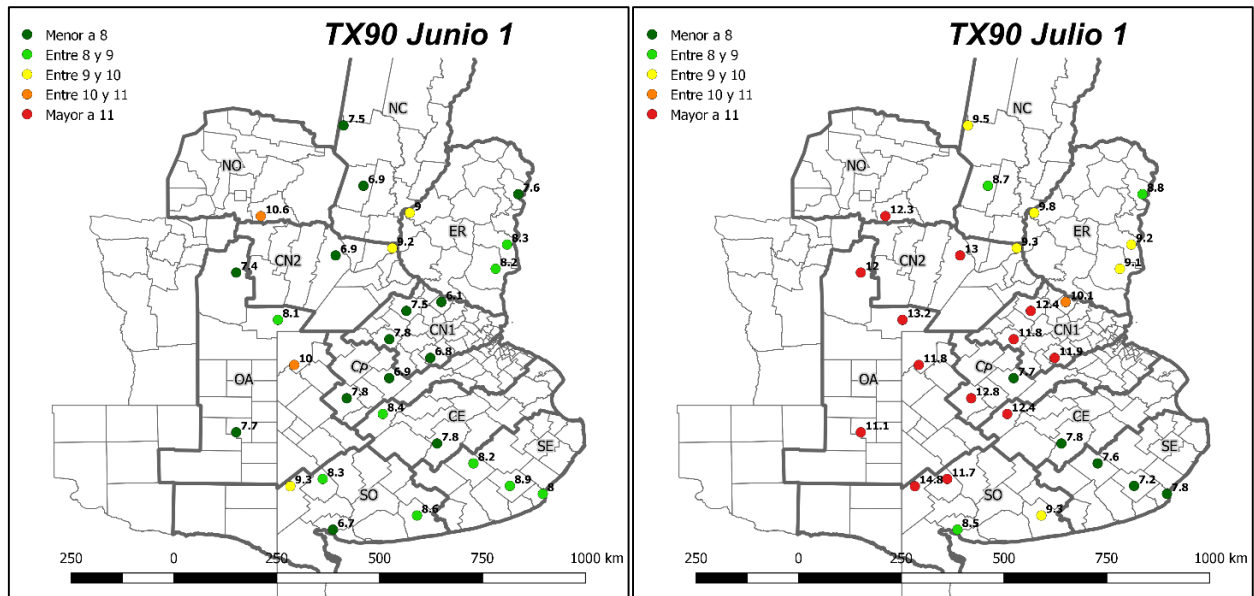
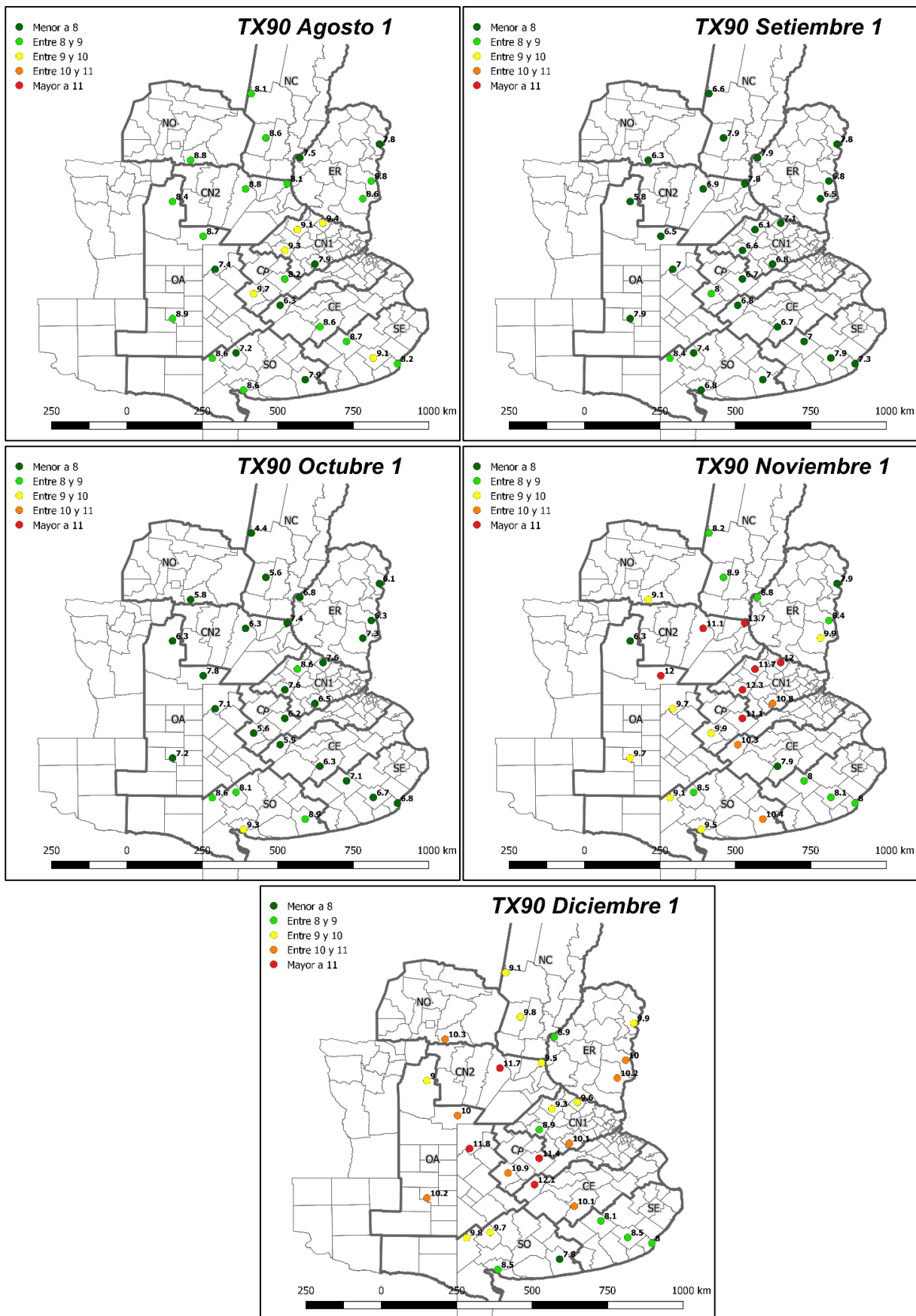


Figura 3.7: Mapas de desvío estándar del porcentaje de días con tmax superior al percentil 90 (TX90). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).



**Figura 3.7 (Continuación):** Mapas de desvío estándar del porcentaje de días con tmax superior al percentil 90 (TX90). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).



Las zonas ubicadas al oeste de la Región Pampeana ampliada (SO y OA) son las que mayor variabilidad presentan en los índices asociados a las temperaturas máximas (TX10 y TX90). Como ya fue manifestado, estos índices exhiben en general, dos épocas de gran variabilidad al inicio y final del período en todas las regiones.

## DTR

El índice DTR (amplitud térmica por sus siglas en inglés) expresa la diferencia media mensual entre las  $t_{max}$  y  $t_{min}$ , y es señalado por Braganza et al. (2004) como un índice indicador de la variabilidad y cambio climático.

Para el cálculo de este índice se utiliza la siguiente fórmula:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I}$$

Donde  $TX_{ij}$  y  $TN_{ij}$  son la temperatura máxima y mínima diaria, respectivamente, en el día  $i$  en el período  $j$  que en nuestro caso son intervalos de 10 u 11 días (para la tercera década de los meses con 31 días).

El cálculo se realizó para las distintas estaciones estudiadas. Los resultados son presentados en la tablas 3.9 y 3.10 y en la Figura 3.8.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |      |      |      |
|------|------|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres         | 11.2  | 11.2  | 12.1  | 12.6  | 13.0  | 13.5  | 14.0  | 14.4  | 14.3  | 14.2  | 14.1  | 14.0  | 13.6  | 13.3  | 13.1  | 13.2  | 13.3  | 13.2  | 12.8 |      |      |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | 10.8  | 10.7  | 11.3  | 11.7  | 12.3  | 12.8  | 13.2  | 13.5  | 13.5  | 13.4  | 13.4  | 13.4  | 13.3  | 13.2  | 13.1  | 13.1  | 13.1  | 13.2  | 13.2 | 13.0 |      |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia     | 10.3  | 10.3  | 10.9  | 11.2  | 11.6  | 11.8  | 12.3  | 12.5  | 12.5  | 12.4  | 12.3  | 12.5  | 12.4  | 12.3  | 12.4  | 12.6  | 13.2  | 13.2  | 13.3 | 13.3 |      |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana        | 8.7   | 8.7   | 9.2   | 9.5   | 9.9   | 10.3  | 10.8  | 11.1  | 11.2  | 11.1  | 11.0  | 11.0  | 11.1  | 11.1  | 11.2  | 11.4  | 11.6  | 11.6  | 11.4 | 11.4 |      |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay     | 10.2  | 10.1  | 10.5  | 10.7  | 11.1  | 11.5  | 11.8  | 12.1  | 12.1  | 11.9  | 11.7  | 11.8  | 11.8  | 11.8  | 11.8  | 12.0  | 12.3  | 12.5  | 12.5 | 12.5 |      |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Guaaleguaychu | 10.3  | 10.3  | 10.7  | 10.8  | 11.1  | 11.5  | 11.9  | 12.0  | 11.9  | 11.8  | 11.7  | 11.8  | 11.8  | 11.9  | 11.9  | 12.2  | 12.6  | 12.8  | 12.8 | 12.8 |      |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | 13.4  | 13.4  | 14.2  | 14.6  | 15.3  | 15.8  | 16.0  | 16.4  | 16.2  | 15.8  | 15.4  | 15.2  | 14.7  | 14.4  | 14.0  | 14.0  | 13.7  | 13.2  | 13.2 | 13.1 |      |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | 9.7   | 9.5   | 9.9   | 10.0  | 10.4  | 11.0  | 11.5  | 11.8  | 11.7  | 11.7  | 11.7  | 11.7  | 11.6  | 11.5  | 11.5  | 11.7  | 12.1  | 12.3  | 12.1 | 12.1 |      |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | 10.9  | 10.9  | 11.3  | 11.5  | 11.9  | 12.6  | 13.1  | 13.5  | 13.4  | 13.3  | 13.1  | 13.0  | 12.7  | 12.7  | 12.7  | 13.0  | 13.3  | 13.5  | 13.4 | 13.4 |      |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin         | 10.7  | 10.7  | 11.2  | 11.3  | 11.8  | 12.3  | 12.9  | 13.2  | 13.2  | 13.1  | 12.8  | 12.6  | 12.4  | 12.4  | 12.5  | 12.8  | 13.4  | 13.4  | 13.4 | 13.4 |      |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | 10.2  | 10.1  | 10.5  | 10.5  | 10.9  | 11.4  | 11.9  | 12.3  | 12.3  | 12.4  | 12.2  | 12.3  | 12.2  | 12.3  | 12.5  | 13.0  | 13.4  | 13.7  | 13.7 | 13.8 |      |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | 10.1  | 10.1  | 10.6  | 10.9  | 11.4  | 11.7  | 12.1  | 12.3  | 12.3  | 12.3  | 12.1  | 12.0  | 11.9  | 11.8  | 11.9  | 12.0  | 12.3  | 12.3  | 12.3 | 12.1 |      |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez | 10.9  | 11.0  | 11.5  | 11.8  | 12.3  | 12.9  | 13.2  | 13.6  | 13.5  | 13.4  | 13.2  | 13.1  | 12.9  | 12.8  | 12.7  | 12.8  | 12.8  | 12.6  | 12.4 | 12.4 |      |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | 10.1  | 9.9   | 10.1  | 10.3  | 10.8  | 11.3  | 11.8  | 12.1  | 12.3  | 12.3  | 12.2  | 12.1  | 12.2  | 12.2  | 12.5  | 12.8  | 13.2  | 13.4  | 13.5 | 13.5 |      |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | 10.3  | 10.2  | 10.7  | 11.0  | 11.4  | 11.8  | 12.3  | 12.6  | 12.5  | 12.4  | 12.1  | 12.1  | 12.1  | 12.2  | 12.4  | 12.7  | 13.1  | 13.2  | 13.4 | 13.4 |      |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | 10.8  | 10.9  | 11.4  | 11.5  | 11.8  | 12.3  | 12.4  | 12.9  | 12.7  | 12.6  | 12.3  | 12.4  | 12.4  | 12.4  | 12.2  | 12.2  | 12.1  | 11.9  | 11.7 | 11.7 |      |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | 12.0  | 12.0  | 12.6  | 12.7  | 13.3  | 14.0  | 14.5  | 14.8  | 14.7  | 14.6  | 14.1  | 13.9  | 13.6  | 13.6  | 13.6  | 13.8  | 13.8  | 13.7  | 13.5 | 13.5 |      |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | GralVillegas  | 11.4  | 11.4  | 11.9  | 12.2  | 12.9  | 13.3  | 13.6  | 13.9  | 13.9  | 13.9  | 13.6  | 13.5  | 13.4  | 13.3  | 13.4  | 13.6  | 13.9  | 14.0  | 13.9 | 13.9 |      |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | 11.7  | 11.6  | 12.2  | 12.4  | 12.8  | 13.3  | 13.7  | 14.0  | 14.0  | 14.1  | 14.1  | 13.9  | 13.9  | 14.0  | 14.3  | 14.5  | 14.7  | 14.7  | 14.7 | 14.7 |      |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | 10.1  | 10.1  | 10.7  | 10.8  | 11.3  | 11.8  | 12.2  | 12.3  | 12.4  | 12.4  | 12.1  | 11.8  | 11.7  | 11.8  | 12.3  | 12.7  | 13.3  | 13.4  | 13.6 | 13.6 |      |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul          | 11.0  | 10.7  | 11.1  | 11.2  | 11.7  | 12.1  | 12.6  | 12.9  | 13.0  | 13.1  | 13.0  | 12.9  | 12.9  | 13.1  | 13.3  | 13.6  | 14.2  | 14.6  | 14.9 | 14.9 |      |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil        | 10.4  | 10.2  | 10.6  | 10.8  | 11.2  | 11.5  | 11.9  | 12.2  | 12.3  | 12.4  | 12.2  | 12.2  | 12.4  | 12.7  | 13.0  | 13.2  | 13.7  | 14.0  | 14.3 | 14.3 |      |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | 9.1   | 8.9   | 9.0   | 9.1   | 9.5   | 9.9   | 10.4  | 10.7  | 11.0  | 11.2  | 11.2  | 11.4  | 11.8  | 12.1  | 12.4  | 12.6  | 13.1  | 13.3  | 13.5 | 13.5 |      |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | 9.6   | 9.5   | 9.6   | 9.6   | 9.8   | 10.1  | 10.4  | 10.7  | 10.8  | 10.8  | 10.5  | 10.8  | 11.0  | 11.2  | 11.3  | 11.4  | 11.9  | 12.1  | 12.0 | 12.0 |      |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue         | 10.0  | 9.8   | 10.1  | 10.5  | 11.0  | 11.4  | 11.7  | 12.1  | 12.4  | 12.5  | 12.4  | 12.3  | 12.3  | 12.5  | 12.8  | 13.1  | 13.5  | 13.6  | 13.8 | 13.8 |      |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | 9.9   | 9.8   | 10.1  | 10.2  | 10.6  | 11.1  | 11.8  | 12.2  | 12.6  | 12.6  | 12.8  | 12.9  | 13.3  | 13.5  | 13.9  | 14.2  | 14.8  | 15.2  | 15.4 | 15.4 |      |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | 10.8  | 10.5  | 10.6  | 10.6  | 10.9  | 11.4  | 12.0  | 12.1  | 12.4  | 12.4  | 12.4  | 12.3  | 12.9  | 13.7  | 14.2  | 14.4  | 14.9  | 15.1  | 15.1 | 15.1 |      |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | 10.8  | 10.2  | 11.0  | 10.8  | 11.3  | 11.3  | 12.0  | 12.4  | 12.6  | 12.9  | 13.0  | 13.1  | 13.5  | 13.4  | 13.9  | 13.8  | 14.6  | 14.8  | 14.8 | 14.9 | 14.9 |

**Tabla 3.9: Valores medios de amplitud térmica para cada período indicado (DTR). Los valores en rojo corresponden a la estación en la que dicha década presenta el mayor valor, mientras que los azules representan la localidad en la que menor valor registró en dicha década. Los valores sombreados en gris son los máximos y mínimos absolutos.**

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |      |
|------|------|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres         | 1.89  | 1.54  | 1.54  | 1.49  | 1.71  | 1.63  | 1.48  | 1.66  | 1.62  | 1.73  | 1.69  | 1.78  | 1.63  | 1.57  | 1.60  | 1.64  | 1.55  | 1.36  | 1.23 |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | 1.69  | 1.44  | 1.47  | 1.23  | 1.45  | 1.51  | 1.60  | 1.67  | 1.73  | 1.70  | 1.87  | 1.67  | 1.42  | 1.47  | 1.30  | 1.32  | 1.20  | 1.04  | 1.06 |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia     | 1.56  | 1.17  | 1.01  | 1.27  | 1.36  | 1.54  | 1.35  | 1.32  | 1.39  | 1.28  | 1.51  | 1.19  | 1.36  | 1.46  | 1.12  | 1.12  | 1.12  | 1.16  | 1.20 |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana        | 1.07  | 0.98  | 1.01  | 0.97  | 1.12  | 1.05  | 0.97  | 1.09  | 1.32  | 1.46  | 1.63  | 1.59  | 1.44  | 1.19  | 1.18  | 1.22  | 1.16  | 1.02  | 1.09 |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay     | 1.67  | 1.46  | 1.37  | 1.29  | 1.38  | 1.60  | 1.37  | 1.23  | 1.26  | 1.22  | 1.54  | 1.42  | 1.48  | 1.36  | 1.14  | 1.25  | 1.22  | 1.33  | 1.21 |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Guaaleguaychu | 1.68  | 1.36  | 1.29  | 1.10  | 1.12  | 1.37  | 1.40  | 1.35  | 1.41  | 1.21  | 1.36  | 1.33  | 1.41  | 1.27  | 1.14  | 1.22  | 1.19  | 1.29  | 1.21 |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | 2.63  | 1.91  | 2.03  | 1.88  | 2.19  | 2.46  | 2.31  | 2.28  | 2.04  | 2.24  | 2.27  | 2.25  | 1.99  | 2.15  | 2.17  | 1.96  | 1.69  | 1.60  | 1.57 |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | 1.57  | 1.30  | 1.34  | 1.26  | 1.24  | 1.28  | 1.48  | 1.52  | 1.65  | 1.49  | 1.51  | 1.29  | 1.32  | 1.40  | 1.33  | 1.30  | 1.23  | 1.31  | 1.27 |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | 1.84  | 1.53  | 1.55  | 1.41  | 1.48  | 1.76  | 1.79  | 1.81  | 1.98  | 1.82  | 1.81  | 1.73  | 1.70  | 1.76  | 1.72  | 1.58  | 1.45  | 1.44  | 1.38 |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin         | 1.86  | 1.31  | 1.27  | 1.22  | 1.21  | 1.65  | 1.73  | 1.92  | 2.00  | 1.70  | 1.83  | 1.81  | 1.68  | 1.65  | 1.51  | 1.39  | 1.44  | 1.43  | 1.40 |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | 1.62  | 1.29  | 1.34  | 1.27  | 1.11  | 1.38  | 1.30  | 1.54  | 1.69  | 1.46  | 1.53  | 1.45  | 1.34  | 1.55  | 1.34  | 1.39  | 1.26  | 1.27  | 1.18 |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | 1.91  | 1.61  | 1.51  | 1.27  | 1.31  | 1.35  | 1.53  | 1.65  | 1.83  | 1.62  | 1.66  | 1.46  | 1.39  | 1.49  | 1.56  | 1.53  | 1.57  | 1.44  | 1.32 |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez | 1.95  | 1.59  | 1.54  | 1.47  | 1.48  | 1.68  | 1.71  | 1.91  | 1.97  | 1.93  | 1.98  | 1.82  | 1.85  | 1.79  | 1.71  | 1.50  | 1.32  | 1.29  | 1.18 |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | 1.71  | 1.55  | 1.44  | 1.46  | 1.15  | 1.40  | 1.54  | 1.67  | 1.65  | 1.51  | 1.49  | 1.52  | 1.39  | 1.80  | 1.76  | 1.92  | 1.98  | 1.77  | 1.45 |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | 1.59  | 1.25  | 1.65  | 1.76  | 1.79  | 2.20  | 2.30  | 2.37  | 2.17  | 2.02  | 1.97  | 1.86  | 1.78  | 1.75  | 1.77  | 1.68  | 1.69  | 1.72  | 1.72 |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | 1.58  | 1.29  | 1.39  | 1.09  | 1.15  | 1.37  | 1.17  | 1.54  | 1.60  | 1.51  | 1.68  | 1.59  | 1.51  | 1.57  | 1.74  | 1.50  | 1.29  | 1.17  | 1.17 |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | 1.91  | 1.59  | 1.65  | 1.50  | 1.55  | 1.89  | 1.95  | 2.14  | 2.07  | 1.86  | 1.91  | 1.82  | 1.75  | 1.96  | 1.98  | 1.68  | 1.44  | 1.52  | 1.41 |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | GralVillegas  | 1.87  | 1.42  | 1.50  | 1.67  | 1.80  | 1.95  | 1.87  | 2.20  | 2.23  | 1.87  | 1.66  | 1.61  | 1.55  | 1.73  | 1.64  | 1.44  | 1.45  | 1.56  | 1.35 |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | 1.82  | 1.64  | 1.53  | 1.56  | 1.67  | 1.91  | 1.70  | 2.05  | 2.12  | 1.85  | 1.62  | 1.50  | 1.38  | 1.60  | 1.54  | 1.35  | 1.29  | 1.39  | 1.41 |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | 1.60  | 1.42  | 1.65  | 1.81  | 1.78  | 1.86  | 1.91  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

un máximo de 16,4 °C para la estación de **Manfredi** (en el mes que comienza en ago\_2). Mientras que el desvío estándar varió entre un mínimo de 0.93 en **Bahía Blanca** (en el mes que comienza en nov\_2) a 2.68 en **Manfredi** (en el mes que comienza en jun\_1).

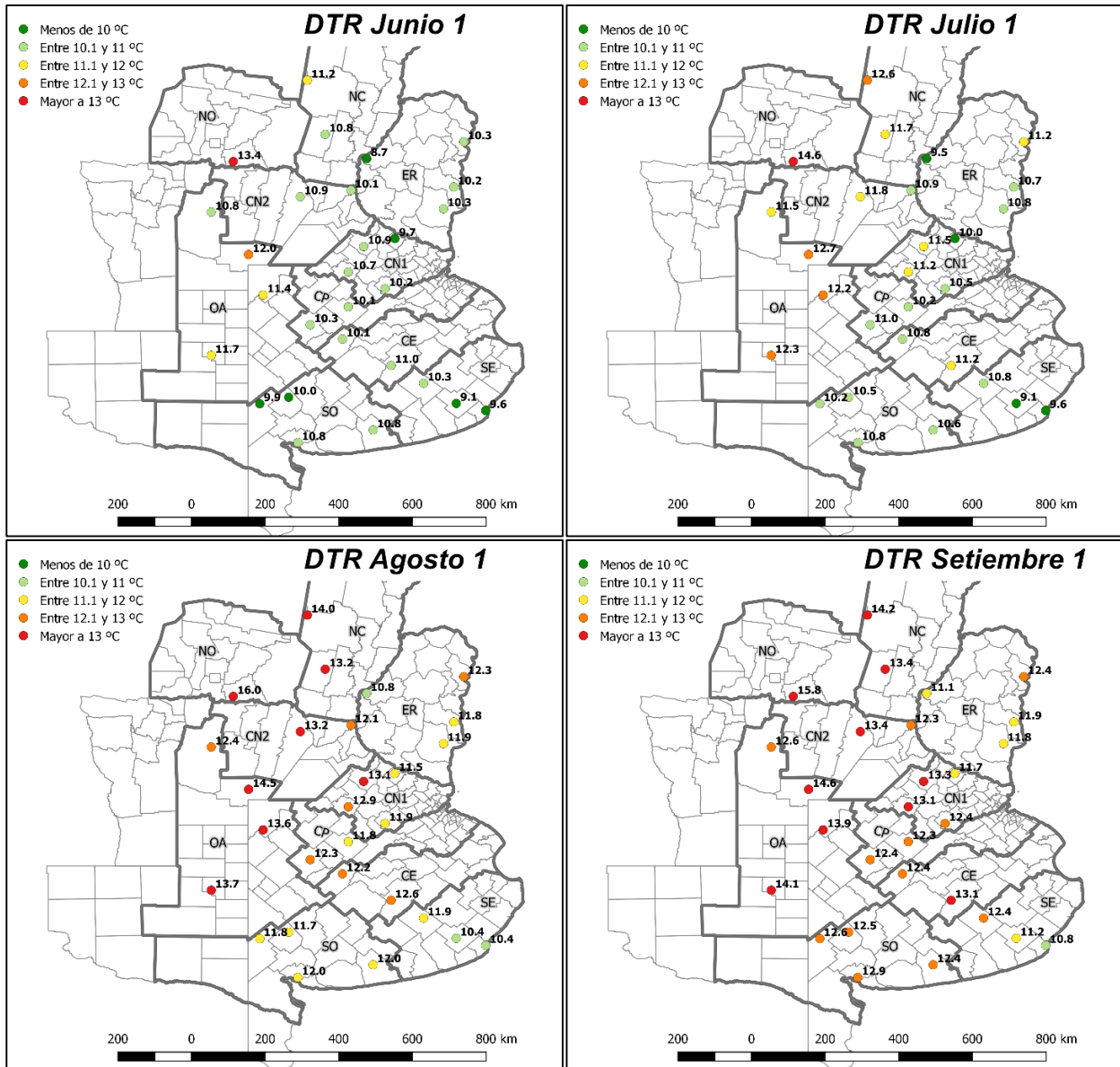
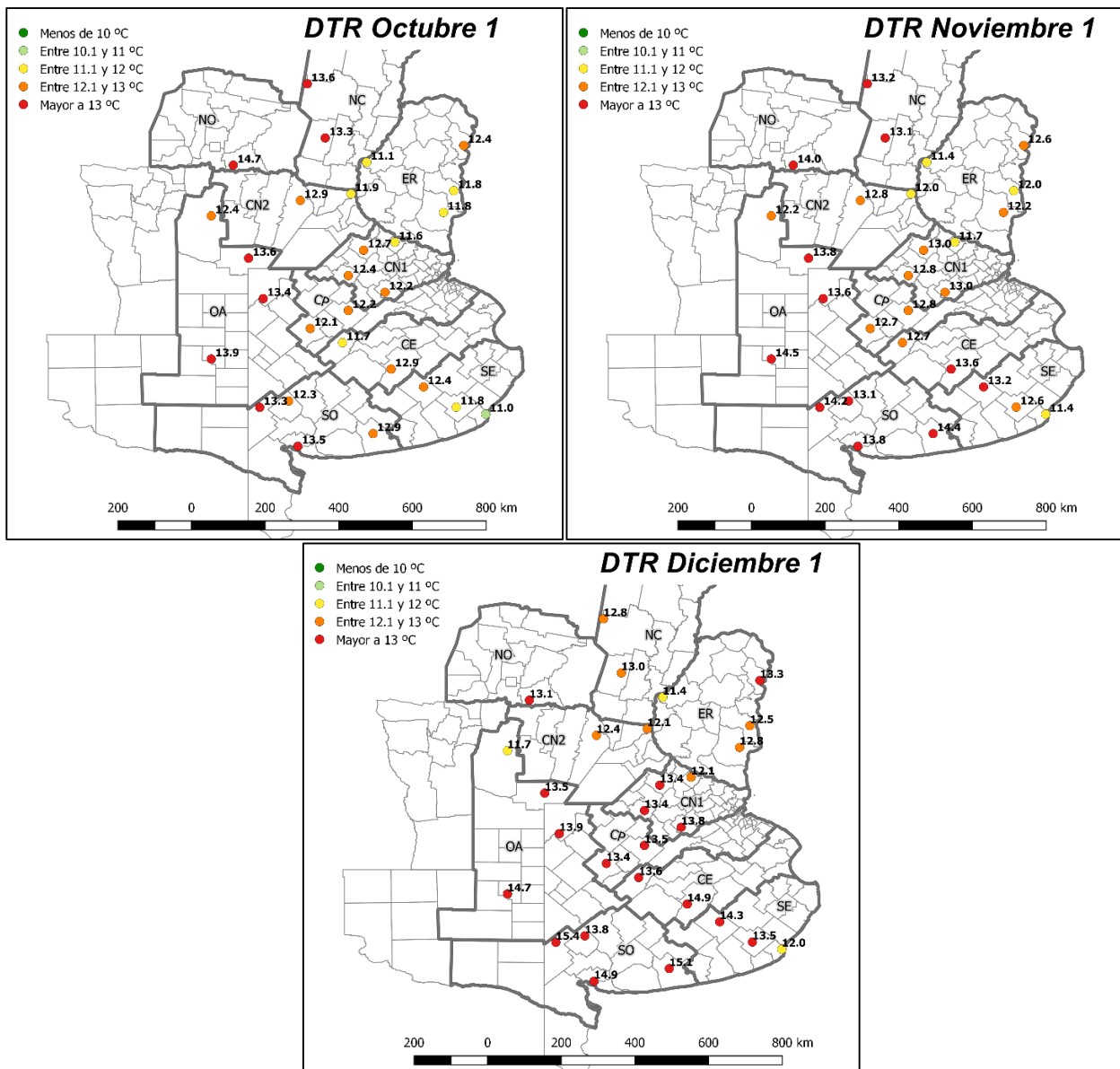


Figura 3.8: Mapas de amplitud térmica (DTR). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).



**Figura 3.8 (continuación): Mapas de amplitud térmica (DTR). Se muestran únicamente los valores mensuales de las décadas de inicio de cada mes (coincidente con el mes calendario).**

Las estaciones ubicadas al oeste muestran las mayores amplitudes térmicas, con mayor variación interanual, algo similar a lo expresado al analizar el desvío estándar de los índices de temperatura máxima, donde la mayor variabilidad interanual la presentaron las estaciones ubicadas en la zona SO.

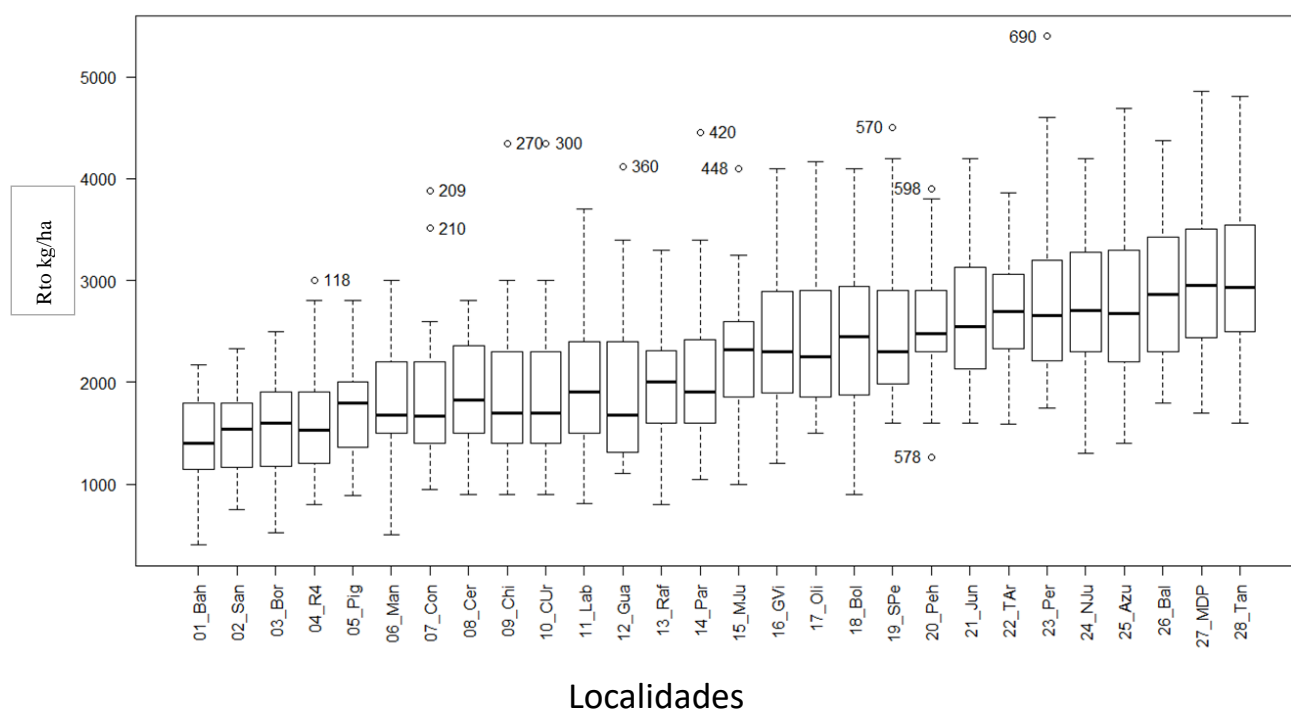
Hasta aquí se ha realizado una caracterización climática de los extremos de temperatura de la región a través de distintos índices térmicos que se refieren a la frecuencia de ocurrencia de temperatura máximas o mínimas muy cálidas o muy frías, siendo éstas determinadas a partir de umbrales térmicos fijos de interés agronómico como así también umbrales basados en percentiles. En capítulos siguientes se analizará la relación entre estos índices y los rendimientos.

# **CAPITULO 4**

## **Relación entre los extremos de temperatura y los rendimientos**

## Introducción

Para analizar la relación entre la frecuencia de temperaturas extremas y los rendimientos de trigo en cada región de la pampa húmeda, se aplicaron distintas metodologías estadísticas que incluyeron cálculos de correlaciones y métodos no paramétricos. El propósito de abordar el tema con distintas metodologías es encontrar resultados más robustos, disminuyendo sesgos o artificialidades matemáticas atribuibles a una metodología particular. El primer análisis realizado, y que es presentado en este capítulo, es el que corresponde al cálculo de correlaciones lineales entre las series de rendimientos y los distintos índices de extremos térmicos. Para el análisis de los rendimientos se utilizaron datos fenométricos obtenidos del Sistema Integrado de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de los distintos departamentos al cual pertenece la estación meteorológica sujeta a estudio. Se consideraron series de rendimiento anual de trigo correspondiente al periodo 1980-2009. La Figura 4.1 presenta una referencia base de la variabilidad de los rendimientos en los 30 años que se analizan.



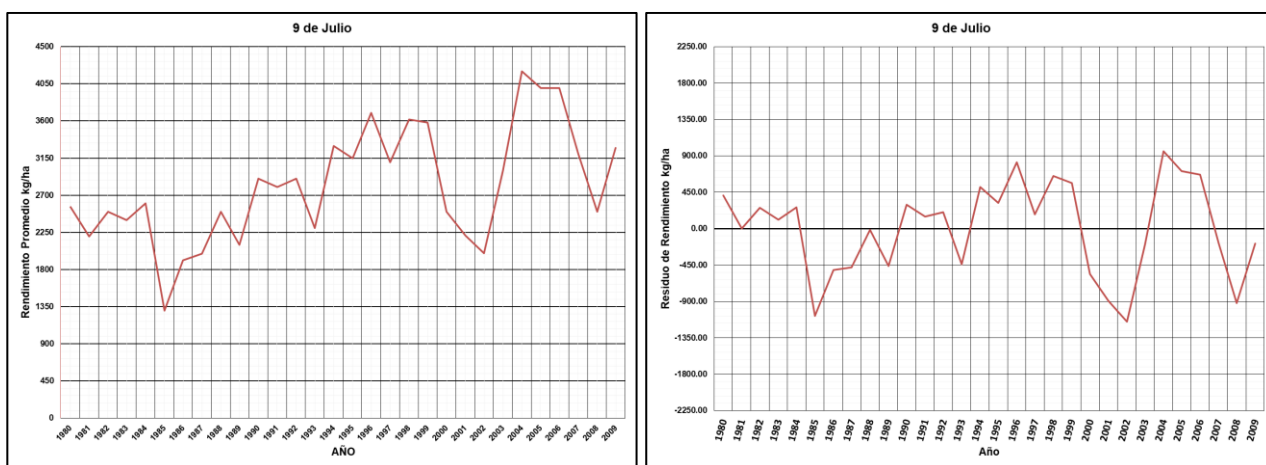
| Cod    | Localidad    | Cod    | Localidad | Cod    | Localidad     | Cod    | Localidad     | Cod    | Localidad | Cod    | Localidad    | Cod    | Localidad    |
|--------|--------------|--------|-----------|--------|---------------|--------|---------------|--------|-----------|--------|--------------|--------|--------------|
| 01_Bah | Bahia Blanca | 05_Pig | Pigue     | 09_Chi | Chivilcoy     | 13_Raf | Rafaela       | 17_Oli | Oliveros  | 21_Jun | Junin        | 25_Azu | Azul         |
| 02_San | Santa Rosa   | 06_Man | Manfredi  | 10_CUR | C.Uruguay     | 14_Par | Parana        | 18_Bol | Bolivar   | 22_TAR | Tres Arroyos | 26_Bal | Balcarce     |
| 03_Bor | Bordenave    | 07_Con | Concordia | 11_Lab | Laboulaye     | 15_MJu | Marcos Juarez | 19_SPe | San Pedro | 23_Per | Pergamino    | 27_MDP | Mar De Plata |
| 04_R4  | Río Cuarto   | 08_Cer | Ceres     | 12_Gua | Guaaleguaychu | 16_GVi | GralVillegas  | 20_Peh | Pehuajo   | 24_NJu | 9 de Julio   | 28_Tan | Tandil       |

**Figura 4.1: Diagramas en caja (Box Plots) de los rendimientos en los distintos partidos / departamentos analizados. Muestran la media, percentiles 25 y 75 y extremos.**

Puede observarse que la región del SE (Tandil, Mar del Plata y Balcarce) es la que tiene los mayores rendimientos de Trigo de la región, con un promedio cercano a los 3000 kg/ha, mientras

que las localidades del SO y OA, tales como Bahía Blanca, Santa Rosa y Bordenave tienen un rendimiento medio de 1500 kg/ha, presentando a su vez, menor variabilidad.

En general, en la República Argentina los cambios en el rendimiento de trigo dados por la tecnología (ya sea cambios en el manejo del cultivo o mejoramiento genético) son de aproximadamente 50 kg promedio por hectárea por año, con valores que varían entre 30 a 90 kg/ha/año (Miralles 2013). Verón et al. (2004) al realizar un análisis de los rendimientos del trigo desde 1923 al 2000 encontraron tendencia lineal debido principalmente al avance de la tecnología a partir de los años 80. Teniendo en cuenta que el período considerado en este estudio se inicia en 1980, y que el avance tecnológico genera una tendencia positiva en los rendimientos, se calcularon las tendencias lineales de los rendimientos de trigo de cada departamento a través de la recta obtenida por cuadrados mínimos, testeando el valor de correlación asociado con un nivel de significancia del 5% (Freund et al. 2000). A excepción de la localidad de Bahía Blanca (que arrojó un valor de tendencia cercano a cero, sin llegar a ser significativo), el resto de las estaciones (27 en total) presentaron tendencias positivas, siendo significativas al 5% 21 de ellas. Teniendo como hipótesis que la tendencia positiva es debida principalmente al avance tecnológico (Verón et al. 2004), se decidió filtrar dicho efecto. Para ello, a cada valor de rendimiento se le restó el correspondiente valor explicado por la recta de regresión. Por simplicidad a esta nueva serie filtrada se la llamará, indistintamente, "residuos de rendimientos" o simplemente "rendimientos". Este procedimiento se aplicó a todas las series, de manera de trabajar con series de residuos en todos los casos. A modo de ejemplo, la figura 4.2 muestra los datos de rendimiento y los datos de los residuos obtenidos para la localidad de 9 de Julio.



**Figura 4.2: Rendimientos promedios en kg/ha para la localidad de 9 de Julio (Izquierda) residuos de los rendimientos (derecha) para el periodo 1980 -2009.**

A partir de los índices calculados en los capítulos 2 y 3, para cada estación estudiada, se realizó una

correlación lineal simple<sup>4</sup> entre éstos y los residuos de los rendimientos anuales de trigo de cada departamento con el fin de evaluar la influencia de dichos extremos sobre los rendimientos en cada localidad. En todos los casos, se testeó la significancia del coeficiente de correlación al 5% (Wackerly et al. 2010). Los resultados son presentados en tablas y mapas. Si bien la información presentada en cada caso es esencialmente la misma, las tablas permiten una mejor visualización temporal, y los mapas, geográfica.

## Impacto de los extremos fríos

### T0 y T3

Como se menciona en el capítulo 3, T0 representa la frecuencia de días con temperatura mínima inferior a 0°C. La tabla 4.1 presenta el coeficiente de correlación de Pearson obtenido entre los rendimientos de cada año y el índice T0, correspondiente a tres décadas consecutivas (mensual decadal) que comienzan con la primera década de junio. Las correlaciones significativas al 5% se encuentran resaltadas en las tablas 4.1 a 4.8, las positivas en color verde y las negativas en color rojo. Para evitar correlaciones provenientes de series con pocos datos se consideraron aquellas que presentaron por lo menos un 25% de años con valores de heladas meteorológicas (T0).

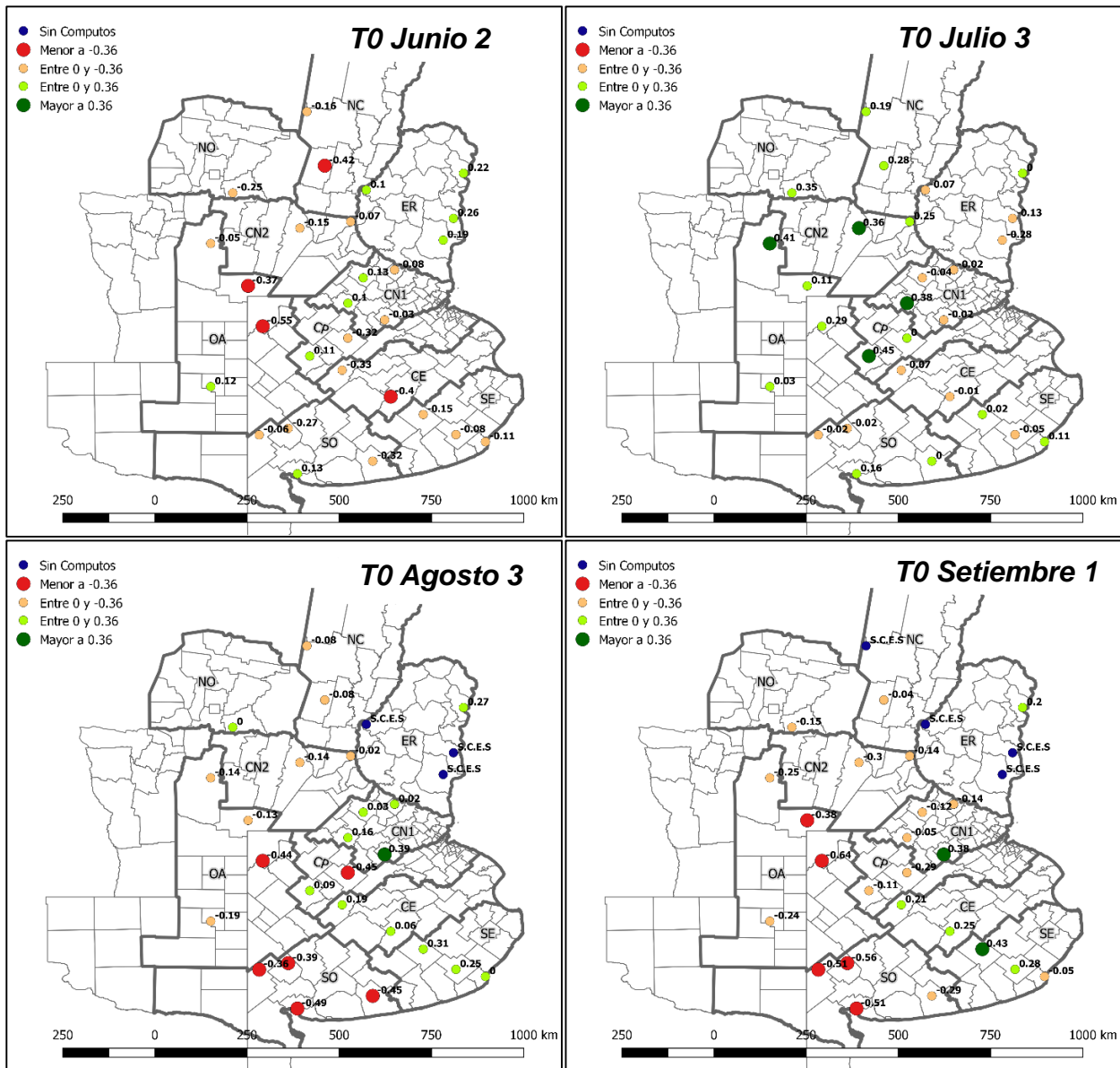
| Zona | Lat.   | Long.  | Localidad     | Jun 1 | Jun 2 | Jun 3 | Jul 1 | Jul 2 | Jul 3 | Ago 1 | Ago 2    | Ago 3    | Set 1    | Set 2    | Set 3    | Oct 1    | Oct 2    | Oct 3    | Nov 1    | Nov 2    | Nov 3    | Dic 1    |          |
|------|--------|--------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| NC   | -29.88 | -61.93 | Ceres         | -0.21 | -0.16 | 0.09  | 0.24  | 0.31  | 0.19  | 0.04  | -0.08    | -0.08    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |          |
| NC   | -31.20 | -61.50 | Rafaela       | -0.30 | -0.42 | -0.12 | 0.09  | 0.32  | 0.28  | 0.14  | 0.08     | -0.08    | -0.04    | 0.07     | 0.19     | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| ER   | -31.38 | -58.12 | Concordia     | 0.25  | 0.22  | 0.00  | -0.05 | -0.10 | 0.00  | -0.01 | 0.17     | 0.27     | 0.20     | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| ER   | -31.79 | -60.48 | Parana        | -0.05 | 0.10  | 0.07  | 0.13  | -0.04 | -0.07 | -0.12 | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| ER   | -32.48 | -58.36 | C. Uruguay    | 0.24  | 0.26  | 0.19  | 0.08  | -0.07 | -0.13 | -0.18 | -0.13    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| ER   | -33.01 | -58.61 | Gualeduaych   | 0.15  | 0.19  | 0.11  | -0.01 | -0.27 | -0.28 | -0.32 | -0.18    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| NO   | -31.86 | -63.74 | Manfredi      | 0.04  | -0.25 | -0.17 | 0.06  | 0.28  | 0.35  | 0.22  | 0.17     | 0.00     | -0.15    | -0.11    | -0.03    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CN1  | -33.74 | -59.80 | San Pedro     | -0.28 | -0.08 | 0.06  | 0.18  | 0.07  | -0.02 | -0.03 | 0.02     | 0.02     | -0.14    | -0.11    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CN1  | -33.93 | -60.56 | Pergamino     | -0.06 | 0.13  | 0.20  | 0.09  | -0.04 | -0.04 | 0.10  | 0.20     | 0.03     | -0.12    | -0.12    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CN1  | -34.55 | -60.93 | Junin         | 0.08  | 0.10  | 0.25  | 0.36  | 0.41  | 0.38  | 0.35  | 0.31     | 0.16     | -0.05    | -0.03    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CN1  | -34.96 | -60.04 | Chivilcoy     | -0.15 | -0.03 | 0.11  | 0.13  | 0.08  | -0.02 | -0.02 | 0.16     | 0.39     | 0.38     | 0.37     | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CN2  | -32.56 | -60.87 | Oliveros      | -0.12 | -0.07 | 0.02  | 0.22  | 0.26  | 0.25  | 0.17  | 0.13     | -0.02    | -0.14    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CN2  | -32.72 | -62.10 | Marcos Juárez | 0.02  | -0.15 | 0.15  | 0.36  | 0.43  | 0.36  | 0.18  | 0.10     | -0.14    | -0.30    | -0.17    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CP   | -35.40 | -60.93 | 9 de Julio    | -0.47 | -0.32 | -0.23 | -0.17 | -0.10 | 0.00  | -0.20 | -0.43    | -0.45    | -0.29    | -0.21    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CP   | -35.84 | -61.86 | Pehuajo       | 0.03  | 0.11  | 0.22  | 0.43  | 0.49  | 0.45  | 0.44  | 0.23     | 0.09     | -0.11    | -0.06    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| OA   | -33.09 | -64.28 | Río Cuarto    | -0.01 | -0.05 | -0.03 | 0.07  | 0.23  | 0.41  | 0.36  | 0.20     | -0.14    | -0.25    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| OA   | -34.13 | -63.36 | Laboulaye     | -0.24 | -0.37 | -0.28 | -0.05 | 0.11  | 0.11  | 0.07  | -0.11    | -0.13    | -0.38    | -0.20    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| OA   | -35.12 | -63.01 | Gral Villegas | -0.34 | -0.55 | -0.63 | -0.25 | 0.04  | 0.29  | 0.26  | 0.01     | -0.44    | -0.64    | -0.44    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| OA   | -36.59 | -64.28 | Santa Rosa    | 0.08  | 0.12  | 0.06  | -0.05 | -0.04 | 0.03  | 0.08  | -0.01    | -0.19    | -0.24    | -0.20    | -0.05    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CE   | -36.19 | -61.07 | Bolivar       | -0.33 | -0.33 | -0.22 | -0.13 | 0.01  | -0.07 | -0.07 | -0.04    | 0.19     | 0.21     | 0.14     | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| CE   | -36.83 | -59.89 | Azul          | -0.34 | -0.40 | -0.15 | -0.10 | 0.06  | -0.01 | -0.06 | -0.16    | 0.06     | 0.25     | 0.23     | 0.06     | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| SE   | -37.27 | -59.10 | Tandil        | -0.09 | -0.15 | 0.07  | 0.04  | 0.15  | 0.02  | -0.02 | -0.09    | 0.31     | 0.43     | 0.34     | 0.01     | 0.05     | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| SE   | -37.76 | -58.30 | Balcarce      | 0.14  | -0.08 | 0.05  | 0.00  | 0.03  | -0.05 | 0.08  | 0.07     | 0.25     | 0.28     | 0.25     | 0.04     | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| SE   | -37.93 | -57.58 | Mar De Plata  | 0.04  | -0.11 | 0.04  | -0.03 | 0.21  | 0.11  | 0.20  | -0.12    | 0.00     | -0.05    | -0.04    | -0.18    | -0.21    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| SO   | -37.61 | -62.39 | Pigue         | -0.27 | -0.27 | -0.23 | -0.11 | -0.05 | -0.02 | -0.08 | -0.22    | -0.39    | -0.56    | -0.56    | -0.44    | -0.54    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| SO   | -37.77 | -63.09 | Bordenave     | -0.16 | -0.06 | -0.14 | -0.12 | -0.10 | -0.02 | -0.03 | -0.17    | -0.36    | -0.51    | -0.53    | -0.46    | -0.35    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| SO   | -38.41 | -60.33 | Tres Arroyos  | -0.47 | -0.32 | -0.23 | -0.17 | -0.10 | 0.00  | -0.20 | -0.43    | -0.45    | -0.29    | -0.21    | -0.07    | -0.18    | -0.22    | -0.27    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |
| SO   | -38.72 | -62.16 | Bahia Blanca  | 0.02  | 0.13  | 0.02  | -0.01 | 0.16  | 0.03  | -0.12 | -0.12    | -0.49    | -0.51    | -0.45    | -0.41    | -0.16    | -0.20    | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. | S.C.E.S. |

**Tabla 4.1: Correlaciones entre las series de extremos de temperatura T0 con los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Las correlaciones significativas (p<0.05) se encuentran resaltadas en las tablas, para el caso de las positivas en color verde y las negativas en color rojo. S.C.E.S. corresponde a “sin cálculos estadísticamente significativos”. Las décadas con menos de 25% de años con tmin inferior a 0°C no se consideraron en el análisis de correlación.**

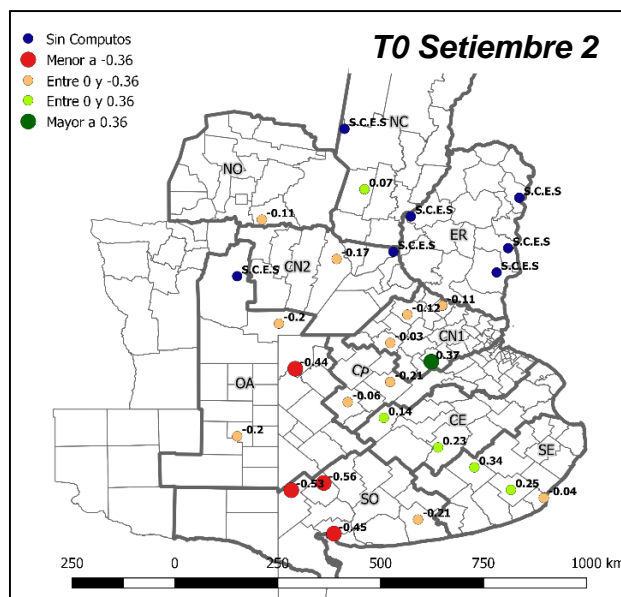
<sup>4</sup> Se utilizó el entorno de programación r Project.



La figura 4.3 presenta los mapas de las correlaciones que permiten tener una mejor apreciación espacial de los resultados. Se incluye una escala de colores diferenciada para valores positivos y negativos, y con símbolos de dos tamaños distintos de acuerdo al valor de correlación. Para resaltar aquellas décadas con mayor cantidad de estaciones con correlaciones significativas, se muestran solo los mapas que contienen 4 o más relaciones significativas.



**Figura 4.3: Mapas de Correlaciones de rendimiento con porcentaje (%) de días con tmin inferior a 0°C (T0). Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.**



**Figura 4.3 (continuación): Mapas de Correlaciones de rendimiento con porcentaje (%) de días con  $t_{min}$  inferior a  $0^{\circ}C$  (T0). Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.**

Este índice presentó: i) relaciones negativas durante el mes de junio, ii) positivas durante julio y en el mes que comienza con la primera década de agosto y iii) negativas nuevamente, en el mes que comienza con la segunda década de agosto hasta el mes que comienza con la primera de octubre, con algunos casos de relaciones positivas en estaciones ubicadas en el este. La mayor cantidad de relaciones negativas se dieron en las regiones SO y OA, y en menor medida en CE, CP y NC. Mientras que CN1, CN2 y CP y en menor medida OA, fueron las que presentaron relaciones positivas.

El mismo análisis se repitió para el índice T3 (heladas agrometeorológicas). En la tabla 4.2 se presentan los resultados de las correlaciones y en la figura 4.4, los mapas con dicha información en los casos de 4 o más décadas significativas. Para evitar correlaciones provenientes de series con pocos datos se tuvieron solo en cuenta aquellas series que presentaron por lo menos un 25% de años con valores de heladas agrometeorológicas (T3).

| Zona | Latitud | Longitud   | Localidad  | Jun_1        | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1   | Oct_2   | Oct_3   | Nov_1   | Nov_2   | Nov_3   | Dic_1   |         |
|------|---------|------------|------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NC   | 1       | -29.877221 | -61.932616 | Ceres        | -0.24 | -0.25 | 0.19  | 0.41  | 0.39  | 0.29  | 0.08  | 0.07  | -0.07 | -0.05 | 0.15  | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| NC   | 1       | -31.196454 | -61.496294 | Rafaela      | -0.30 | -0.39 | -0.13 | 0.22  | 0.36  | 0.41  | 0.28  | 0.16  | -0.17 | -0.20 | 0.02  | 0.22    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| ER   | 2       | -31.380993 | -58.115055 | Concordia    | 0.38  | 0.22  | -0.05 | 0.20  | 0.17  | 0.22  | -0.03 | 0.00  | 0.23  | 0.14  | 0.18  | -0.15   | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| ER   | 2       | -31.789896 | -60.484550 | Parana       | -0.16 | 0.01  | 0.11  | 0.28  | 0.24  | 0.19  | 0.15  | 0.14  | 0.12  | -0.01 | -0.03 | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| ER   | 2       | -32.482592 | -58.358790 | C.Uruguay    | 0.21  | 0.15  | 0.12  | -0.12 | -0.17 | -0.18 | 0.05  | 0.14  | 0.19  | 0.21  | 0.06  | -0.10   | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| ER   | 2       | -33.012377 | -58.609487 | Guauguaych   | -0.10 | -0.07 | 0.08  | -0.06 | -0.15 | -0.23 | 0.02  | 0.14  | 0.18  | 0.18  | 0.16  | 0.10    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| NO   | 3       | -31.860241 | -63.738699 | Manfredi     | -0.03 | -0.27 | -0.07 | 0.14  | 0.33  | 0.33  | 0.20  | 0.08  | -0.16 | -0.26 | -0.13 | 0.01    | -0.01   | -0.05   | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| CN1  | 4       | -33.738102 | -59.795465 | San Pedro    | -0.18 | -0.10 | 0.07  | 0.05  | 0.02  | 0.05  | 0.24  | 0.02  | -0.09 | -0.09 | 0.21  | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| CN1  | 4       | -33.933516 | -60.558469 | Pergamino    | 0.08  | 0.23  | 0.31  | 0.22  | 0.11  | 0.09  | 0.24  | 0.14  | 0.00  | 0.01  | 0.21  | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| CN1  | 4       | -34.552151 | -60.931614 | Junin        | 0.07  | 0.09  | 0.22  | 0.29  | 0.42  | 0.42  | 0.49  | 0.35  | 0.31  | 0.23  | 0.25  | 0.24    | 0.13    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |
| CN1  | 4       | -34.961076 | -60.036261 | Chivilcoy    | -0.15 | -0.01 | 0.21  | 0.27  | 0.25  | 0.11  | 0.13  | 0.12  | 0.24  | 0.23  | 0.25  | 0.13    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| CN2  | 5       | -32.561673 | -60.865662 | Oliveros     | -0.08 | -0.10 | 0.05  | 0.22  | 0.20  | 0.20  | 0.04  | -0.10 | -0.22 | -0.26 | -0.08 | 0.20    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| CN2  | 5       | -32.719863 | -62.103927 | Marcos Juare | 0.11  | 0.01  | 0.30  | 0.46  | 0.55  | 0.45  | 0.33  | 0.07  | -0.21 | -0.39 | -0.37 | -0.15   | -0.13   | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| CP   | 6       | -35.403997 | -60.933702 | 9 de Julio   | -0.08 | 0.09  | 0.34  | 0.37  | 0.34  | 0.19  | 0.13  | 0.07  | 0.20  | 0.19  | 0.24  | 0.02    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| CP   | 6       | -35.843445 | -61.861453 | Pehuajo      | 0.11  | 0.10  | 0.29  | 0.44  | 0.54  | 0.45  | 0.44  | 0.29  | 0.35  | 0.16  | 0.20  | 0.14    | 0.18    | 0.21    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |
| OA   | 7       | -33.094999 | -64.276911 | Rio Cuarto   | 0.13  | 0.13  | 0.13  | 0.22  | 0.32  | 0.36  | 0.37  | 0.10  | -0.26 | -0.39 | -0.27 | 0.02    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| OA   | 7       | -34.128938 | -63.364628 | Laboulaye    | -0.04 | -0.13 | -0.04 | 0.14  | 0.29  | 0.25  | -0.12 | -0.29 | -0.39 | -0.44 | -0.39 | -0.34   | -0.29   | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |         |
| OA   | 7       | -35.115465 | -63.008593 | GralVillegas | -0.02 | -0.22 | -0.31 | 0.03  | 0.25  | 0.43  | 0.42  | -0.13 | -0.44 | -0.70 | -0.35 | -0.18   | -0.03   | -0.02   | 0.16    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |
| OA   | 7       | -36.587996 | -64.275628 | Santa Rosa   | 0.26  | -0.37 | 0.28  | 0.05  | -0.05 | -0.01 | -0.01 | -0.13 | -0.22 | -0.31 | -0.24 | -0.13   | -0.14   | -0.09   | 0.10    | 0.12    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |
| CE   | 8       | -36.188068 | -61.074075 | Bolivar      | -0.29 | -0.27 | -0.08 | -0.17 | -0.09 | -0.12 | -0.03 | 0.01  | 0.27  | 0.32  | 0.32  | -0.01   | -0.03   | -0.06   | -0.06   | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |
| CE   | 8       | -36.833793 | -59.888185 | Azul         | -0.35 | -0.37 | -0.09 | -0.09 | 0.00  | -0.19 | -0.14 | -0.27 | 0.03  | 0.11  | 0.25  | 0.17    | 0.16    | 0.07    | -0.08   | -0.19   | -0.13   | S.C.E.S | S.C.E.S |
| SE   | 9       | -37.268483 | -59.095364 | Tandil       | -0.22 | -0.26 | -0.03 | -0.07 | 0.09  | -0.03 | 0.08  | -0.07 | 0.20  | 0.25  | 0.27  | 0.03    | 0.17    | 0.15    | 0.03    | -0.13   | 0.11    | S.C.E.S | S.C.E.S |
| SE   | 9       | -37.760735 | -58.298477 | Balcarce     | -0.21 | -0.23 | -0.01 | 0.00  | 0.06  | -0.03 | 0.11  | 0.09  | 0.25  | 0.25  | 0.18  | 0.13    | 0.12    | 0.23    | 0.21    | 0.20    | 0.33    | S.C.E.S | S.C.E.S |
| SE   | 9       | -37.934427 | -57.579521 | Mar De Plata | -0.02 | -0.09 | 0.08  | 0.07  | 0.31  | 0.05  | 0.11  | -0.20 | 0.12  | -0.02 | 0.11  | -0.09   | 0.08    | 0.26    | 0.25    | 0.12    | 0.08    | S.C.E.S | S.C.E.S |
| SO   | 10      | -37.609346 | -62.386185 | Pigue        | -0.09 | -0.11 | -0.04 | 0.06  | 0.04  | -0.01 | -0.25 | -0.25 | -0.29 | -0.26 | -0.45 | -0.55   | -0.64   | -0.52   | -0.15   | -0.07   | -0.10   | S.C.E.S | S.C.E.S |
| SO   | 10      | -37.767585 | -63.093998 | Bordenave    | -0.28 | -0.02 | 0.03  | 0.12  | -0.05 | 0.03  | -0.18 | -0.21 | -0.37 | -0.32 | -0.49 | -0.39   | -0.46   | -0.29   | 0.00    | 0.19    | 0.29    | S.C.E.S | S.C.E.S |
| SO   | 10      | -38.407825 | -60.326558 | Tres Arroyos | -0.54 | -0.27 | 0.05  | 0.00  | -0.09 | -0.17 | -0.29 | -0.43 | -0.39 | -0.26 | -0.17 | -0.13   | -0.25   | -0.29   | 0.01    | 0.08    | 0.25    | 0.10    | -0.02   |
| SO   | 10      | -38.716573 | -62.163179 | Bahia Blanca | -0.16 | 0.01  | 0.04  | 0.14  | 0.13  | 0.18  | 0.15  | -0.18 | -0.37 | -0.41 | -0.28 | -0.14   | -0.34   | -0.27   | -0.07   | 0.20    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S |

Tabla 4.2: Correlaciones entre las series de extremos de temperatura T3 con los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Las correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) se encuentran resaltadas en las tablas, para el caso de las positivas en color verde y las negativas en color rojo. S.C.E.S (sin cálculos estadísticamente significativos), se incluyen aquí los periodos que no tienen por lo menos un 25% de años con registros para poder realizar la correlación.

Los mapas de la figura 4.4, muestran en forma espacial, los resultados obtenidos.

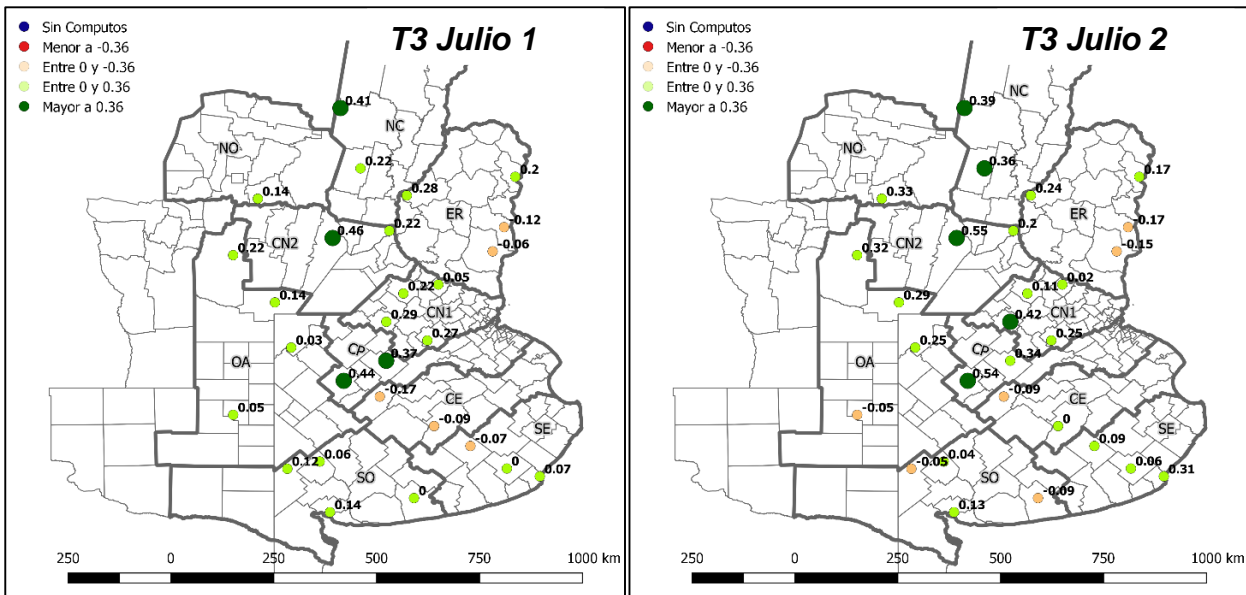


Figura 4.4: Mapas de Correlaciones de rendimiento con porcentaje (%) de días con  $t_{min}$  inferior a  $3^{\circ}C$  (T3). Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.

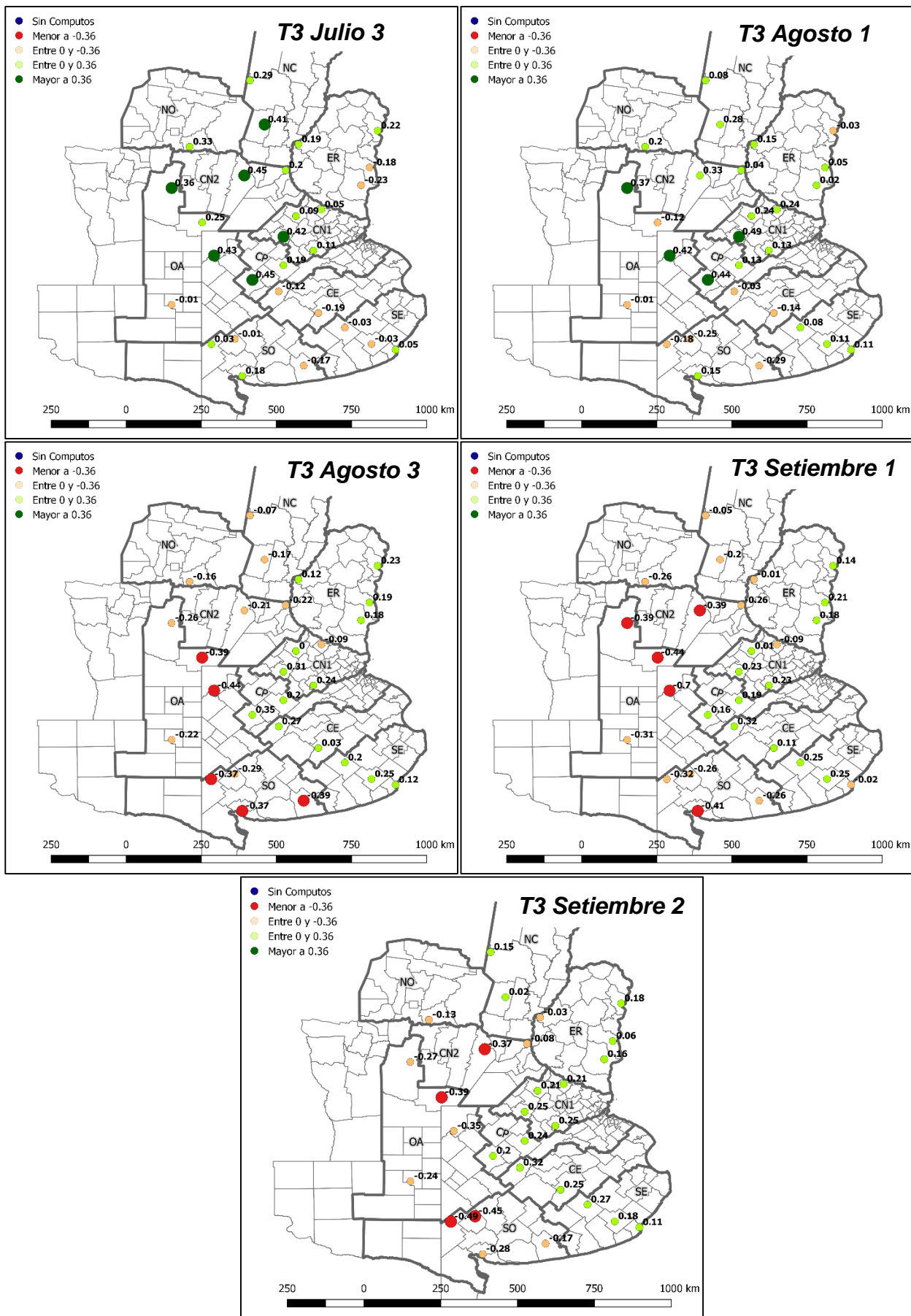


Figura 4.4 (Continuación): Mapas de Correlaciones de rendimiento con porcentaje (%) de días con  $t_{min}$  inferior a 3°C (T3). Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.

Puede observarse que durante el mes de junio prevalecen las correlaciones negativas, aunque significativas en pocos casos. Lo contrario ocurre durante el mes de julio, cuando las únicas relaciones significativas encontradas son positivas, ubicándose las mismas en las regiones NC, CN1 y CN2, CP y OA. Esto se revierte en los meses subsiguientes, encontrándose relaciones significativas negativas en las zonas CN2, OA y SO. Si bien las heladas pueden producir daño sobre el cultivo del trigo en cualquiera de sus etapas fenológicas, la intensidad del mismo depende de la etapa en la que se produzcan (Shoryer et al. 1995). Las etapas reproductivas (Encañazon, Espigazón/Antesis y Llenado de Grano) y la etapa de Establecimiento son más susceptibles que Premacollaje y Macollaje (Shroyer et al. 1995; Porter y Gawith 1999). Esto explicaría las relaciones negativas encontradas en las primeras décadas de junio donde el cultivo de trigo se encuentra en la etapa de Establecimiento y, desde fines de agosto y setiembre -en la época de inicio de etapas reproductivas- hasta octubre, donde el cultivo se encuentra en etapas reproductivas. Es de destacar que gran parte del trimestre septiembre octubre noviembre (periodo crítico), sobre todo en noviembre, no existen suficientes registros para poder realizar correlaciones estadísticamente significativas en muchas de las estaciones analizadas (en este periodo crítico el trigo se encuentra en una etapa fenológica<sup>5</sup> en la cual no existe recuperación al daño producido por temperaturas mínimas compatibles con heladas).

La influencia de las bajas temperaturas sobre los cultivos no depende solamente de la etapa fenológica donde éste se encuentre, sino también de las condiciones meteorológicas previas a la ocurrencia de una helada (Fuller et al. 2007; Fuller et al. 2013; Boggero 2016; Suarez Cordo 2016; Silva et al. 2008). Esta podría ser una de las razones por las cuales los mayores impactos negativos se dan mayormente en las regiones ubicadas al oeste, con clima más continental, mayor amplitud térmica, y temperaturas más extremas, a diferencia de las ubicadas en el este, que por un efecto marítimo tendrían cierta atenuación de las heladas<sup>6</sup>, con consecuencias más moderadas.

En etapas de Premacollaje y Macollaje la ocurrencia de heladas agrometeorológicas no presentó relaciones negativas probablemente debido a la alta resistencia que tiene el trigo en estas etapas. Las relaciones positivas encontradas en este periodo al igual que las mencionadas en el periodo que comienza con la segunda década de agosto en T0, estarían vinculados a otros factores asociados con la ocurrencia de mínimas inferiores a 3°C (T3) o 0°C (T0).

---

<sup>5</sup> Etapas que comprenden desde hoja bandera hasta los primeros días de llenado de grano. Tabla 1.2.

<sup>6</sup> Actuarían aquí dos efectos por un lado las temperaturas mínimas no son tan extremas y por el otro no existen cambios bruscos de temperatura lo que permite cierta aclimatación de los cultivos.

## TN10 y TX10

Las relaciones entre los rendimientos y los índices de extremos de temperatura basados en percentiles, tienen como objetivo dar pautas de potenciales efectos en un escenario de cambio de clima. Este tipo de índices representan los cambios respecto a su propia climatología, con sus características locales, en lugar de considerar un umbral fijo.

En las tablas y figuras siguientes, se presentan los resultados de las correlaciones entre los distintos índices de extremos basados en percentiles y los rendimientos. La tabla 4.3 y figura 4.5 se refiere a los resultados correspondientes al índice TN10, mientras que la tabla 4.4 y figura 4.6 muestran los resultados para el índice TX10. Se muestran los mapas de aquellos períodos donde se registraron al menos cuatro estaciones con correlaciones significativas al 5%.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |       |
|------|------|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres         | -0.15 | -0.13 | 0.06  | 0.21  | 0.28  | 0.16  | 0.08  | -0.01 | 0.08  | 0.10  | 0.36  | 0.25  | 0.14  | 0.01  | 0.09  | 0.24  | SC    | SC    | SC    |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | -0.34 | -0.40 | -0.20 | 0.07  | 0.27  | 0.27  | 0.21  | 0.06  | -0.15 | -0.16 | 0.12  | 0.02  | -0.02 | 0.06  | 0.32  | 0.45  | SC    | SC    | SC    |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia     | 0.32  | 0.27  | 0.00  | -0.10 | -0.13 | -0.11 | 0.02  | 0.08  | 0.29  | 0.19  | 0.24  | 0.11  | -0.01 | -0.16 | -0.16 | -0.02 | 0.19  | SC    | SC    |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana        | -0.28 | -0.06 | 0.03  | 0.23  | 0.08  | 0.05  | 0.14  | 0.22  | 0.15  | 0.20  | 0.09  | 0.16  | 0.09  | 0.35  | 0.29  | 0.23  | -0.22 | SC    | SC    |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay     | 0.23  | 0.22  | 0.23  | 0.11  | -0.07 | -0.12 | -0.08 | 0.06  | 0.16  | 0.23  | 0.16  | 0.14  | 0.09  | 0.25  | 0.15  | 0.07  | -0.17 | SC    | SC    |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualeduaychu  | 0.10  | 0.11  | 0.14  | -0.01 | -0.29 | -0.25 | -0.05 | 0.19  | 0.22  | 0.20  | 0.17  | 0.12  | 0.02  | -0.03 | -0.18 | -0.21 | -0.19 | SC    | SC    |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | -0.03 | -0.26 | -0.33 | -0.21 | 0.00  | 0.22  | 0.09  | 0.05  | -0.11 | -0.09 | 0.00  | -0.03 | 0.00  | 0.03  | 0.29  | 0.48  | 0.40  | SC    | SC    |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | -0.35 | -0.20 | 0.02  | 0.15  | 0.00  | 0.01  | 0.03  | -0.01 | -0.09 | 0.11  | 0.36  | 0.44  | 0.22  | 0.19  | 0.27  | 0.26  | 0.21  | 0.16  | SC    |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | -0.16 | 0.03  | 0.18  | 0.23  | 0.14  | 0.15  | 0.26  | 0.23  | 0.04  | 0.08  | 0.22  | 0.47  | 0.29  | 0.24  | 0.19  | 0.07  | -0.07 | -0.07 | SC    |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin         | 0.05  | 0.09  | 0.24  | 0.33  | 0.30  | 0.21  | 0.22  | 0.23  | 0.11  | 0.05  | 0.09  | 0.13  | 0.10  | 0.29  | 0.42  | 0.47  | 0.25  | 0.35  | SC    |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | -0.13 | -0.03 | -0.02 | 0.06  | 0.04  | 0.25  | 0.03  | 0.17  | 0.22  | 0.23  | 0.14  | 0.01  | 0.15  | 0.35  | 0.42  | 0.36  | 0.20  | 0.19  | -0.02 |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | -0.09 | -0.08 | -0.02 | 0.15  | 0.23  | 0.16  | 0.09  | 0.00  | -0.09 | -0.11 | 0.08  | 0.13  | 0.24  | 0.27  | 0.22  | 0.21  | -0.08 | SC    | SC    |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez | 0.19  | -0.05 | 0.17  | 0.39  | 0.47  | 0.36  | 0.30  | 0.20  | -0.02 | -0.20 | -0.15 | -0.09 | -0.05 | 0.16  | 0.22  | 0.38  | 0.18  | SC    | SC    |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | -0.09 | 0.02  | 0.05  | 0.12  | 0.13  | 0.11  | 0.02  | 0.06  | 0.19  | 0.17  | 0.10  | -0.06 | 0.19  | 0.38  | 0.41  | 0.27  | 0.18  | 0.26  | SC    |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | 0.01  | 0.10  | 0.16  | 0.35  | 0.38  | 0.32  | 0.49  | 0.23  | 0.10  | -0.06 | 0.01  | 0.11  | 0.20  | 0.31  | 0.42  | 0.39  | 0.43  | 0.36  | 0.03  |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | 0.03  | -0.03 | -0.01 | 0.12  | 0.30  | 0.48  | 0.43  | 0.16  | -0.27 | -0.32 | -0.11 | -0.01 | -0.01 | 0.11  | 0.36  | 0.50  | 0.28  | SC    | SC    |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | -0.09 | -0.19 | -0.23 | -0.12 | 0.01  | 0.08  | 0.17  | 0.00  | -0.09 | -0.44 | -0.27 | -0.22 | -0.08 | 0.07  | 0.17  | 0.30  | 0.28  | 0.40  | SC    |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | GralVillegas  | -0.45 | -0.29 | -0.30 | 0.07  | -0.03 | 0.03  | 0.04  | -0.21 | -0.49 | -0.50 | -0.18 | -0.11 | -0.06 | 0.06  | 0.40  | 0.45  | 0.48  | 0.25  | SC    |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | 0.09  | 0.01  | -0.13 | -0.22 | -0.07 | 0.07  | 0.04  | -0.19 | -0.36 | -0.35 | -0.25 | -0.24 | -0.36 | -0.40 | -0.13 | 0.05  | 0.29  | 0.35  | SC    |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | -0.24 | -0.23 | -0.25 | -0.25 | -0.22 | -0.15 | -0.07 | 0.03  | 0.14  | 0.09  | 0.02  | -0.07 | 0.06  | 0.16  | 0.20  | 0.01  | -0.12 | -0.11 | 0.03  |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul          | -0.21 | -0.33 | -0.31 | -0.27 | -0.13 | -0.22 | -0.33 | -0.40 | -0.13 | 0.09  | 0.08  | 0.05  | 0.03  | -0.03 | -0.16 | -0.21 | -0.05 | 0.03  | 0.17  |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil        | 0.06  | 0.00  | 0.09  | 0.00  | 0.02  | -0.14 | -0.13 | -0.17 | 0.10  | 0.18  | 0.18  | 0.10  | 0.17  | 0.03  | -0.08 | -0.06 | 0.11  | 0.18  | 0.23  |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | 0.24  | -0.13 | -0.05 | -0.15 | 0.03  | -0.01 | 0.13  | 0.11  | 0.28  | 0.29  | 0.21  | 0.13  | 0.16  | 0.31  | 0.39  | 0.41  | 0.32  | 0.24  | 0.18  |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | 0.14  | 0.14  | 0.13  | 0.07  | 0.10  | 0.12  | 0.18  | -0.04 | 0.05  | -0.05 | -0.09 | -0.13 | -0.05 | 0.23  | 0.25  | 0.35  | 0.22  | 0.22  | 0.26  |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue         | -0.24 | -0.31 | -0.32 | -0.28 | -0.19 | -0.15 | -0.12 | -0.26 | -0.34 | -0.52 | -0.51 | -0.59 | -0.66 | -0.53 | -0.05 | 0.10  | 0.07  | 0.02  | -0.23 |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | -0.01 | -0.03 | -0.12 | -0.11 | -0.03 | 0.05  | -0.07 | -0.17 | -0.29 | -0.28 | -0.45 | -0.50 | -0.45 | -0.34 | -0.02 | 0.15  | 0.08  | -0.02 | -0.32 |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | -0.40 | -0.48 | -0.39 | -0.34 | -0.11 | -0.09 | -0.22 | -0.44 | -0.47 | -0.43 | -0.35 | -0.16 | -0.20 | -0.17 | 0.01  | 0.17  | 0.14  | 0.01  | -0.10 |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | 0.03  | -0.09 | -0.28 | -0.12 | 0.01  | 0.30  | 0.06  | -0.21 | -0.51 | -0.54 | -0.27 | -0.18 | -0.36 | -0.35 | 0.05  | 0.27  | 0.11  | 0.05  | -0.21 |

**Tabla 4.3: Correlaciones entre las series de extremos de temperatura TN10 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Las correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) se encuentran resaltadas en las tablas, para el caso de las positivas en color verde y las negativas en color rojo. S.C. (sin cultivo ya que en general ya se ha cosechado).**

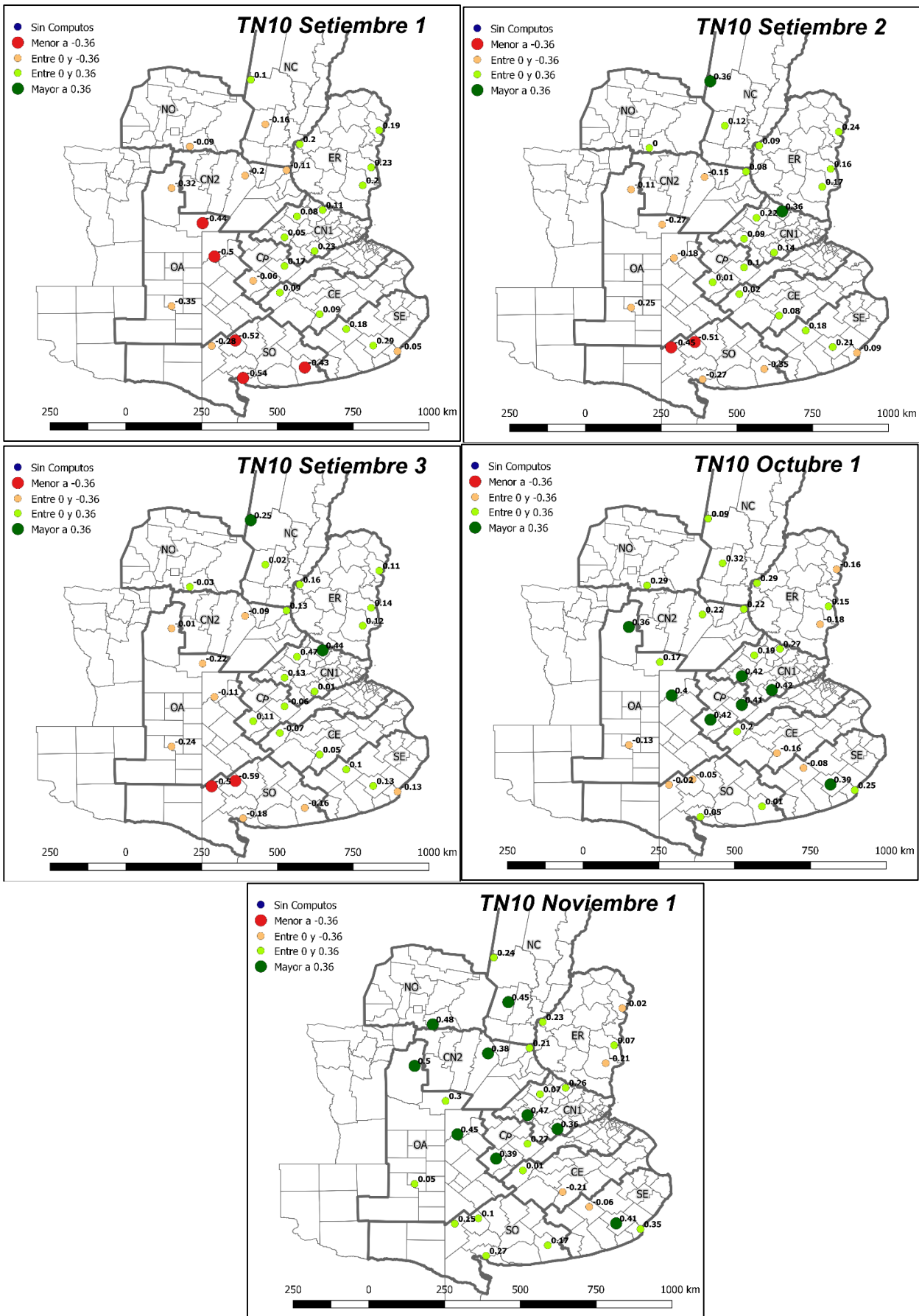


Figura 4.5: Mapas de Correlaciones entre las series de extremos de temperatura TN10 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada.

El índice TN10 (frecuencia de temperaturas mínimas frías) presenta hasta setiembre cierta similitud con lo encontrado para los índices de heladas (relaciones significativas negativas en junio, luego positivas durante julio y agosto y posteriormente negativas nuevamente), con menor cantidad de estaciones con relaciones significativas.

Para el periodo crítico, a partir de la segunda década de septiembre, se observa una diferenciación de las relaciones en función de la ubicación de las estaciones consideradas. Las estaciones ubicadas hacia el **sur de la región** (sobre todo la zona SO), que según lo visto en el capítulo 2 (tabla 2.5) aun presentaron muchas décadas con TNP10 por debajo de temperaturas que pueden causar daño al cultivo, continuaron evidenciando una relación negativa con los rendimientos. Mientras que en **las ubicadas más al norte** (zona NC y CN1), con temperaturas TNP10 que superaron dicho umbral se visualiza lo contrario. Debe observarse, sin embargo, que estas estaciones no están exentas de registrar temperaturas que puedan producir daño en el cultivo (capítulo 2, tabla 2.4). La ocurrencia de noches más frescas tiene un claro rol positivo en las estaciones del norte. Por un lado, por un aumento en la duración de etapas fenológicas (DDC en la ecuación 1), con la mayor captura de recursos que ello trae aparejado. Por otro lado, hay un mejor balance de carbono (EUR en la ecuación 1). Las estaciones ubicadas en el sur, en cambio, continúan evidenciando temperaturas que producen daño, y su efecto predomina por sobre el posible efecto positivo que puedan tener las mismas. A partir de la tercera década de octubre las relaciones son positivas en casi todas las zonas analizadas. La influencia positiva del alargamiento del periodo crítico producida por el aumento en el porcentaje de días con temperaturas nocturnas frescas, estaría beneficiando la captura de recursos con el consecuente aumento en el rendimiento.

A diferencia de la frecuencia de noches frías, que tendría una influencia diferenciada sobre los rendimientos del trigo en función de la región y época del año considerada, la frecuencia de días fríos (TX10) tendría una influencia positiva sobre los rendimientos, independientemente del momento fenológico y zona considerada, tal como se puede apreciar en la tabla 4.4 y la figura 4.6, especialmente en las estaciones del oeste. Probablemente, esta condición de "máximas frías" esté relacionada con una mayor humedad, que resulta beneficiosa sobre los distintos componentes del rendimiento.



| Zona | Latitud | Longitud | Localidad | Jun 1         | Jun 2 | Jun 3 | Jul 1 | Jul 2 | Jul 3 | Ago 1 | Ago 2 | Ago 3 | Set 1 | Set 2 | Set 3 | Oct 1 | Oct 2 | Oct 3 | Nov 1 | Nov 2 | Nov 3 | Dic 1 |       |
|------|---------|----------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NC   | 1       | -29.88   | -61.93    | Ceres         | 0.12  | 0.04  | 0.30  | 0.32  | 0.36  | 0.16  | 0.27  | 0.28  | 0.46  | 0.34  | 0.43  | 0.30  | 0.36  | 0.37  | 0.36  | 0.42  | 0.31  | SC    | SC    |
| NC   | 1       | -31.20   | -61.50    | Rafaela       | 0.04  | -0.09 | 0.22  | 0.28  | 0.49  | 0.36  | 0.36  | 0.20  | 0.18  | 0.11  | 0.37  | 0.25  | 0.25  | 0.18  | 0.22  | 0.33  | 0.29  | SC    | SC    |
| ER   | 2       | -31.38   | -58.12    | Concordia     | 0.28  | -0.05 | -0.22 | -0.30 | -0.29 | -0.26 | -0.29 | -0.02 | -0.11 | 0.12  | -0.18 | -0.04 | -0.27 | -0.11 | -0.11 | -0.09 | 0.13  | SC    | SC    |
| ER   | 2       | -31.79   | -60.48    | Parana        | 0.07  | 0.06  | 0.24  | 0.26  | 0.31  | 0.29  | 0.34  | -0.03 | -0.11 | -0.01 | 0.03  | 0.03  | -0.12 | 0.32  | 0.59  | 0.28  | -0.16 | SC    | SC    |
| ER   | 2       | -32.48   | -58.36    | C. Uruguay    | -0.03 | 0.00  | 0.03  | -0.10 | -0.12 | 0.05  | 0.04  | 0.23  | -0.05 | 0.24  | -0.07 | 0.18  | -0.20 | 0.01  | -0.06 | -0.22 | -0.24 | SC    | SC    |
| ER   | 2       | -33.01   | -58.61    | Gualeduay     | -0.06 | -0.16 | -0.19 | -0.21 | -0.13 | 0.06  | 0.21  | 0.20  | 0.05  | 0.17  | -0.03 | 0.03  | -0.25 | -0.04 | 0.02  | -0.20 | -0.03 | SC    | SC    |
| NO   | 3       | -31.86   | -63.74    | Manfredi      | 0.25  | 0.15  | 0.22  | 0.33  | 0.41  | 0.43  | 0.47  | 0.46  | 0.38  | 0.23  | 0.22  | 0.13  | 0.11  | 0.11  | 0.25  | 0.12  | 0.09  | SC    | SC    |
| CN1  | 4       | -33.74   | -59.80    | San Pedro     | -0.20 | -0.07 | 0.04  | 0.06  | 0.06  | 0.17  | 0.18  | -0.02 | -0.16 | 0.09  | 0.17  | 0.14  | -0.15 | -0.12 | 0.15  | 0.15  | 0.06  | -0.08 | SC    |
| CN1  | 4       | -33.93   | -60.56    | Pergamino     | 0.02  | 0.17  | 0.11  | -0.07 | -0.13 | 0.00  | 0.02  | -0.14 | -0.22 | 0.06  | -0.04 | -0.11 | -0.34 | -0.07 | 0.08  | 0.12  | -0.03 | -0.18 | SC    |
| CN1  | 4       | -34.55   | -60.93    | Junin         | 0.04  | 0.24  | 0.31  | 0.11  | -0.08 | 0.04  | 0.10  | -0.11 | -0.13 | -0.04 | -0.21 | -0.25 | -0.34 | -0.06 | 0.06  | 0.07  | -0.09 | -0.25 | SC    |
| CN1  | 4       | -34.96   | -60.04    | Chivilcoy     | -0.18 | -0.18 | -0.07 | -0.15 | -0.09 | 0.01  | 0.09  | 0.05  | -0.12 | -0.08 | -0.11 | -0.15 | -0.08 | -0.07 | 0.06  | -0.15 | -0.16 | -0.19 | -0.07 |
| CN2  | 5       | -32.56   | -60.87    | Oliveros      | 0.07  | 0.04  | 0.05  | 0.08  | 0.07  | 0.11  | 0.12  | -0.03 | -0.18 | -0.03 | 0.09  | 0.11  | -0.12 | -0.10 | 0.17  | 0.13  | 0.07  | SC    | SC    |
| CN2  | 5       | -32.72   | -62.10    | Marcos Juarez | 0.19  | 0.05  | 0.27  | 0.25  | 0.39  | 0.37  | 0.44  | 0.25  | -0.03 | 0.01  | 0.25  | 0.30  | 0.17  | 0.13  | 0.23  | 0.19  | 0.08  | SC    | SC    |
| CP   | 6       | -35.40   | -60.93    | 9 de Julio    | 0.00  | -0.08 | 0.05  | -0.03 | 0.05  | 0.13  | 0.17  | 0.20  | -0.07 | -0.05 | -0.09 | -0.09 | -0.01 | -0.02 | 0.07  | -0.14 | -0.10 | -0.09 | -0.01 |
| CP   | 6       | -35.84   | -61.86    | Pehuajo       | 0.03  | 0.05  | 0.09  | 0.15  | 0.03  | -0.16 | -0.17 | -0.10 | -0.08 | -0.11 | -0.04 | -0.07 | -0.13 | -0.16 | -0.01 | 0.04  | 0.21  | 0.02  | -0.15 |
| OA   | 7       | -33.09   | -64.28    | Río Cuarto    | 0.10  | 0.15  | 0.30  | 0.43  | 0.44  | 0.52  | 0.54  | 0.30  | 0.26  | 0.30  | 0.35  | 0.25  | -0.07 | -0.02 | 0.11  | 0.30  | 0.18  | SC    | SC    |
| OA   | 7       | -34.13   | -63.36    | Laboulaye     | 0.05  | 0.05  | 0.13  | 0.35  | 0.45  | 0.52  | 0.57  | 0.44  | 0.40  | 0.13  | 0.17  | 0.13  | 0.24  | 0.17  | 0.29  | 0.31  | 0.10  | -0.17 | SC    |
| OA   | 7       | -35.12   | -63.01    | Gral Villegas | -0.25 | -0.53 | -0.30 | 0.16  | -0.08 | 0.15  | 0.23  | 0.58  | 0.28  | 0.10  | 0.10  | 0.05  | 0.07  | -0.16 | 0.02  | 0.16  | 0.19  | -0.06 | SC    |
| OA   | 7       | -36.59   | -64.28    | Santa Rosa    | 0.34  | 0.42  | 0.53  | 0.47  | 0.37  | 0.37  | 0.52  | 0.39  | 0.29  | 0.28  | 0.38  | 0.69  | 0.56  | 0.63  | 0.52  | 0.30  | 0.37  | 0.31  | SC    |
| CE   | 8       | -36.19   | -61.07    | Bolivar       | 0.10  | 0.00  | -0.03 | 0.01  | 0.00  | -0.11 | -0.26 | -0.13 | 0.03  | 0.12  | 0.06  | -0.03 | -0.07 | -0.29 | -0.28 | -0.35 | -0.30 | -0.03 | 0.05  |
| CE   | 8       | -36.83   | -59.89    | Azul          | -0.03 | -0.17 | -0.09 | -0.03 | -0.05 | -0.12 | -0.02 | 0.25  | 0.20  | 0.21  | 0.21  | 0.39  | 0.15  | -0.07 | -0.17 | -0.22 | -0.01 | 0.25  | 0.33  |
| SE   | 9       | -37.27   | -59.10    | Tandil        | -0.16 | -0.17 | -0.13 | -0.21 | -0.26 | -0.24 | -0.27 | -0.12 | -0.05 | 0.06  | -0.02 | 0.10  | 0.07  | -0.12 | -0.32 | -0.40 | -0.10 | 0.06  | 0.11  |
| SE   | 9       | -37.76   | -58.30    | Balcarce      | -0.11 | -0.03 | -0.05 | -0.05 | -0.11 | -0.08 | -0.05 | 0.05  | 0.13  | 0.09  | 0.21  | 0.14  | 0.09  | -0.01 | -0.16 | -0.09 | -0.27 | 0.34  | 0.34  |
| SE   | 9       | -37.93   | -57.58    | Mar De Plata  | -0.16 | -0.17 | -0.27 | -0.20 | -0.10 | 0.15  | 0.23  | 0.22  | -0.14 | -0.02 | -0.04 | 0.13  | -0.01 | 0.07  | -0.05 | -0.11 | -0.15 | -0.01 | 0.32  |
| SO   | 10      | -37.61   | -62.39    | Pigüe         | 0.07  | 0.20  | 0.26  | 0.30  | 0.26  | 0.10  | 0.14  | 0.27  | 0.35  | 0.51  | 0.37  | 0.54  | 0.02  | 0.09  | 0.11  | 0.50  | 0.37  | 0.20  | 0.25  |
| SO   | 10      | -37.77   | -63.09    | Bordenave     | 0.22  | 0.24  | 0.37  | 0.36  | 0.39  | 0.39  | 0.31  | 0.37  | 0.39  | 0.48  | 0.46  | 0.51  | 0.10  | 0.25  | 0.27  | 0.45  | 0.33  | 0.26  | 0.27  |
| SO   | 10      | -38.41   | -60.33    | Tres Arroyos  | 0.08  | 0.19  | 0.39  | 0.29  | 0.20  | 0.09  | 0.08  | 0.06  | 0.02  | -0.13 | -0.04 | 0.18  | 0.25  | 0.14  | 0.21  | 0.08  | 0.30  | 0.18  | 0.29  |
| SO   | 10      | -38.72   | -62.16    | Bahia Blanca  | 0.03  | 0.09  | 0.26  | 0.30  | 0.32  | 0.24  | 0.15  | 0.04  | 0.05  | 0.09  | 0.03  | 0.21  | -0.17 | 0.05  | 0.01  | 0.42  | 0.18  | 0.15  | 0.21  |

Tabla 4.4: Correlaciones entre las series de extremos de temperatura TX10 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Las correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) se encuentran resaltadas en las tablas, para el caso de las positivas en color verde y las negativas en color rojo. S.C. (sin cultivo ya que en general ya se ha cosechado).

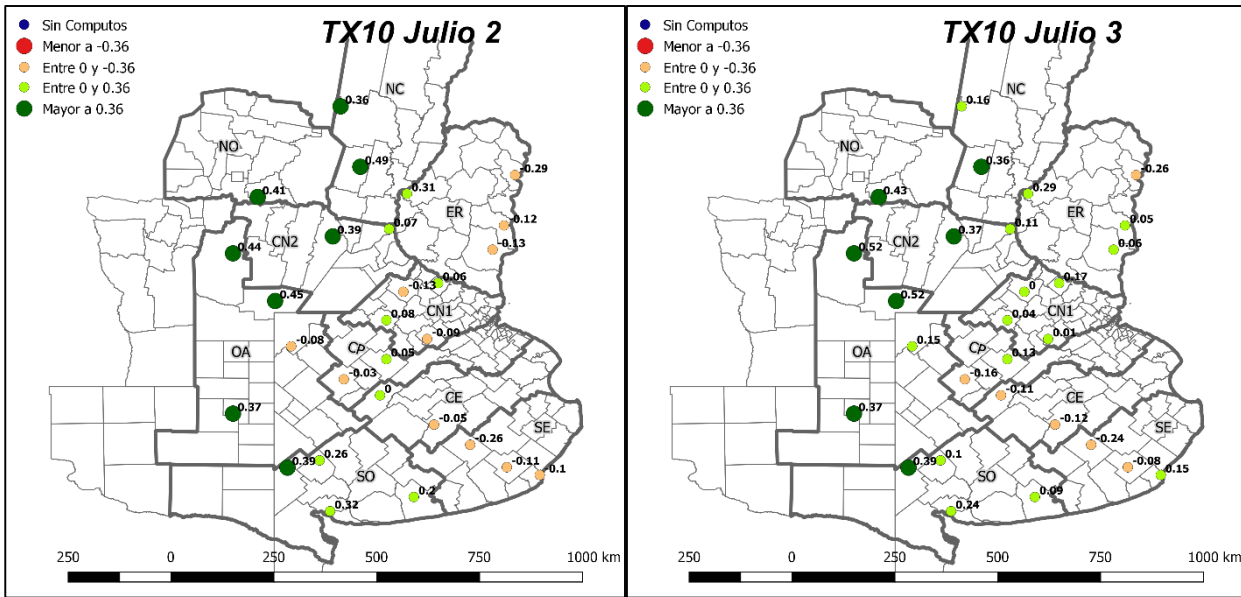


Figura 4.6: Mapas de Correlaciones entre las series de extremos de temperatura TX10 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada

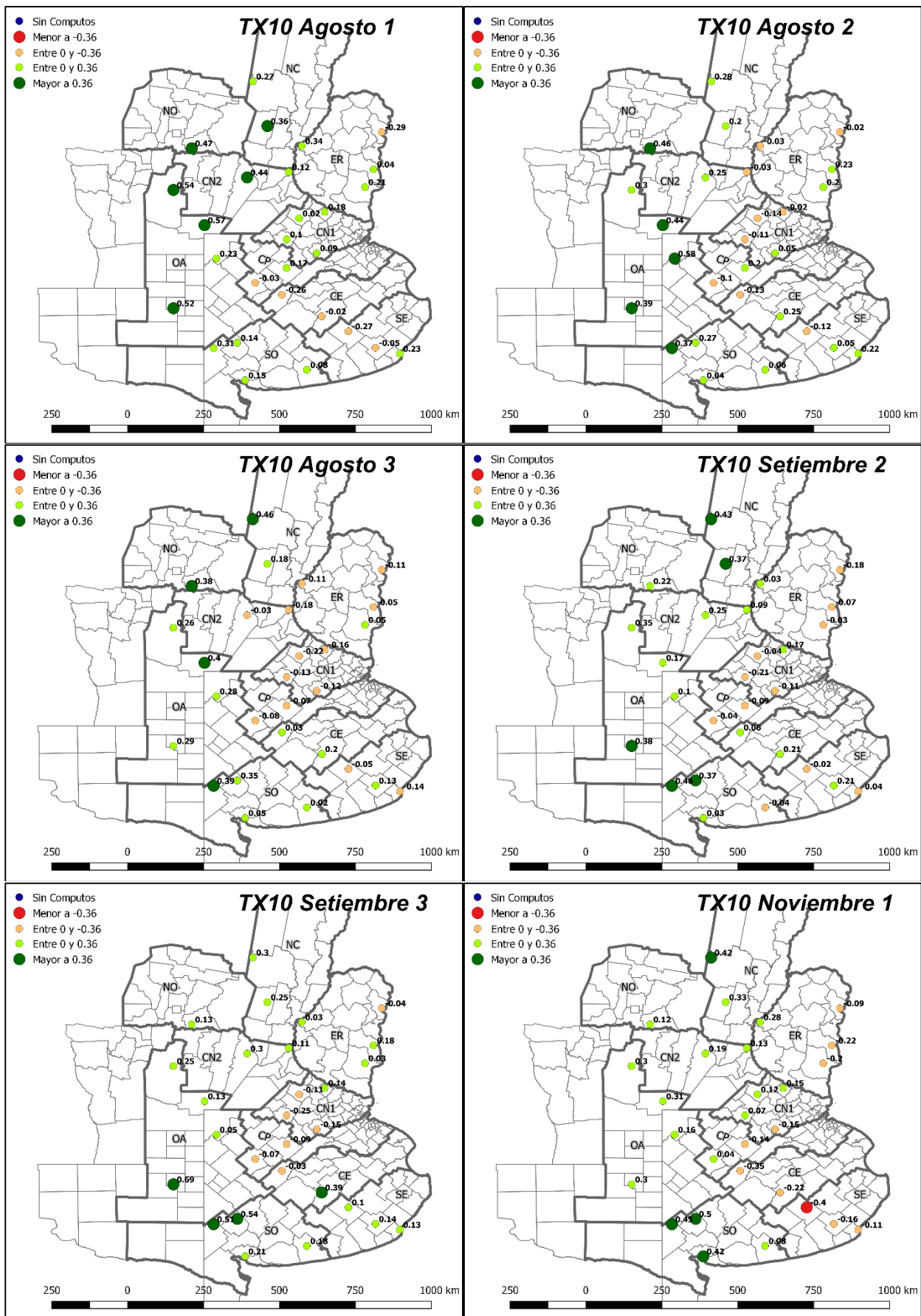


Figura 4.6 (Continuación): Mapas de Correlaciones entre las series de extremos de temperatura TX10 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada.

Tal como lo reflejan las tablas y mapas, las correlaciones encontradas entre el índice TX10 y los rendimientos fueron positivas concentrándose sobre todo en las regiones del Norte y Oeste, evidenciando que la mayor frecuencia de días relativamente frescos respecto a la media climática esperada tienen un efecto favorable para el rendimiento final. De hecho cuantas más frescas las condiciones durante el llenado de granos, es de esperar un aumento en los rendimientos (Wiegand y Cuellar 1982).

Las temperaturas frescas nocturnas (TN10) y diurnas (TX10) no tuvieron entonces la misma influencia sobre el rendimiento. Mientras que las primeras mostraron diferencias según los periodos considerados (pudiendo ser positiva o negativa), las diurnas fueron casi por completo positivas durante todo el ciclo del cultivo, especialmente en las estaciones del Oeste.

### **Impacto de extremos cálidos**

En este apartado se analiza la relación de las condiciones cálidas sobre los rendimientos en las distintas secuencias de 3 décadas consideradas, definiendo la condición cálida con un umbral fijo (T30) y con percentiles. Se analiza tanto los extremos cálidos de  $t_{min}$  (TN90) como de  $t_{max}$  (TX90).

#### **T30**

El primer índice asociado a condiciones cálidas analizado, es el que corresponde a frecuencias de días con  $t_{max}$  superiores a 30°C (T30). El mismo sólo pudo ser evaluado en algunas décadas en particular. La tabla 4.5 y figura 4.7 reflejan los resultados encontrados.

| Zona | Lat. | Long.  | Localidad | Jun 1         | Jun 2   | Jun 3   | Jul 1   | Jul 2   | Jul 3   | Ago 1   | Ago 2   | Ago 3   | Set 1   | Set 2   | Set 3   | Oct 1   | Oct 2   | Oct 3   | Nov 1   | Nov 2 | Nov 3 | Dic 1 |       |       |
|------|------|--------|-----------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NC   | 1    | -29.88 | -61.93    | Ceres         | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.18   | -0.39   | -0.37   | -0.13   | 0.00    | 0.06    | -0.09   | -0.45   | -0.47   | -0.44 | -0.37 | SC    | SC    |       |
| NC   | 1    | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.51   | -0.48   | -0.27   | -0.19   | 0.03    | 0.05    | -0.22   | -0.35   | -0.30   | -0.27 | SC    | SC    |       |       |
| ER   | 2    | -31.38 | -58.12    | Concordia     | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | 0.03    | 0.07    | -0.14   | -0.08   | -0.13   | 0.22    | -0.07 | SC    | SC    |       |       |
| ER   | 2    | -31.79 | -60.48    | Parana        | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.06   | -0.11   | 0.06    | -0.32   | -0.34   | -0.28   | -0.07 | SC    | SC    |       |       |
| ER   | 2    | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay     | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.15   | -0.20   | -0.02   | 0.05    | 0.06    | 0.10    | 0.05  | SC    | SC    |       |       |
| ER   | 2    | -33.01 | -58.61    | Gualedguay    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.11   | -0.11   | 0.06    | -0.17   | -0.24   | -0.22   | -0.12 | SC    | SC    |       |       |
| NO   | 3    | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.37   | -0.43   | -0.33   | -0.33   | 0.07    | 0.08    | -0.19   | -0.33 | -0.25 | -0.14 | SC    | SC    |
| CN1  | 4    | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.37   | -0.16   | -0.29   | -0.36   | -0.34 | -0.11 | 0.01  | SC    |       |
| CN1  | 4    | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.38   | -0.13   | -0.27   | -0.22   | -0.23 | -0.10 | -0.11 | SC    |       |
| CN1  | 4    | -34.55 | -60.93    | Junin         | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.08   | 0.08    | -0.09   | -0.19   | -0.12 | 0.06  | 0.13  | SC    |       |
| CN1  | 4    | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.02   | -0.02   | -0.03   | 0.17  | 0.15  | 0.22  | SC    |       |
| CN2  | 5    | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.08   | 0.10    | -0.18   | -0.26   | -0.17 | -0.09 | SC    | SC    |       |
| CN2  | 5    | -32.72 | -62.10    | Marcos Juarez | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.07   | -0.12   | -0.03   | 0.11    | -0.12 | -0.22 | -0.16 | -0.01 | SC    |
| CP   | 6    | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | 0.26    | -0.02   | -0.04   | -0.02 | 0.13  | 0.09  | 0     |       |
| CP   | 6    | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | 0.07    | -0.25   | -0.25 | -0.06 | 0.16  | 0.33  |       |
| OA   | 7    | -33.09 | -64.28    | Rio Cuarto    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.01   | -0.14   | -0.06   | -0.21   | -0.27 | -0.35 | -0.13 | 0.04  | SC    |
| OA   | 7    | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.03   | -0.12   | -0.13   | -0.33 | -0.14 | -0.14 | 0.13  | SC    |
| OA   | 7    | -35.12 | -63.01    | Gral Villegas | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | 0.21    | 0.14    | 0.03    | -0.18 | 0.02  | 0.06  | 0.18  | SC    |
| OA   | 7    | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | 0.23    | 0.21    | -0.29   | -0.39 | -0.43 | -0.35 | -0.42 | SC    |
| CE   | 8    | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.10   | -0.07 | -0.04 | 0.19  | 0.1   | 0.13  |
| CE   | 8    | -36.83 | -59.89    | Azul          | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.27   | -0.39 | -0.26 | -0.3  | -0.2  | SC    |
| SE   | 9    | -37.27 | -59.10    | Tandil        | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.24 | -0.04 | -0.04 | 0.10  | SC    |
| SE   | 9    | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.15 | -0.06 | -0.09 | -0.07 | SC    |
| SE   | 9    | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.16 | 0.11  | 0.05  | 0.05  | SC    |
| SO   | 10   | -37.61 | -62.39    | Pigue         | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.43 | -0.28 | -0.33 | -0.42 | -0.27 |
| SO   | 10   | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.66 | -0.49 | -0.43 | -0.35 | -0.37 |
| SO   | 10   | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.50 | -0.53 | -0.46 | -0.35 | -0.03 |
| SO   | 10   | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | S.C.E.S | -0.64 | -0.52 | -0.42 | -0.29 | -0.31 |

Tabla 4.5: Correlaciones entre las series de extremos de temperatura T30 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Las correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) se encuentran resaltadas en las tablas, para el caso de las positivas en color verde y las negativas en color rojo. S.C. (sin cultivo ya que en general ya se ha cosechado) y S.C.E.S (sin cómputos estadísticamente significativos), se incluyen aquí los periodos que no tienen por lo menos un 25% de años con registros para poder realizar la correlación.

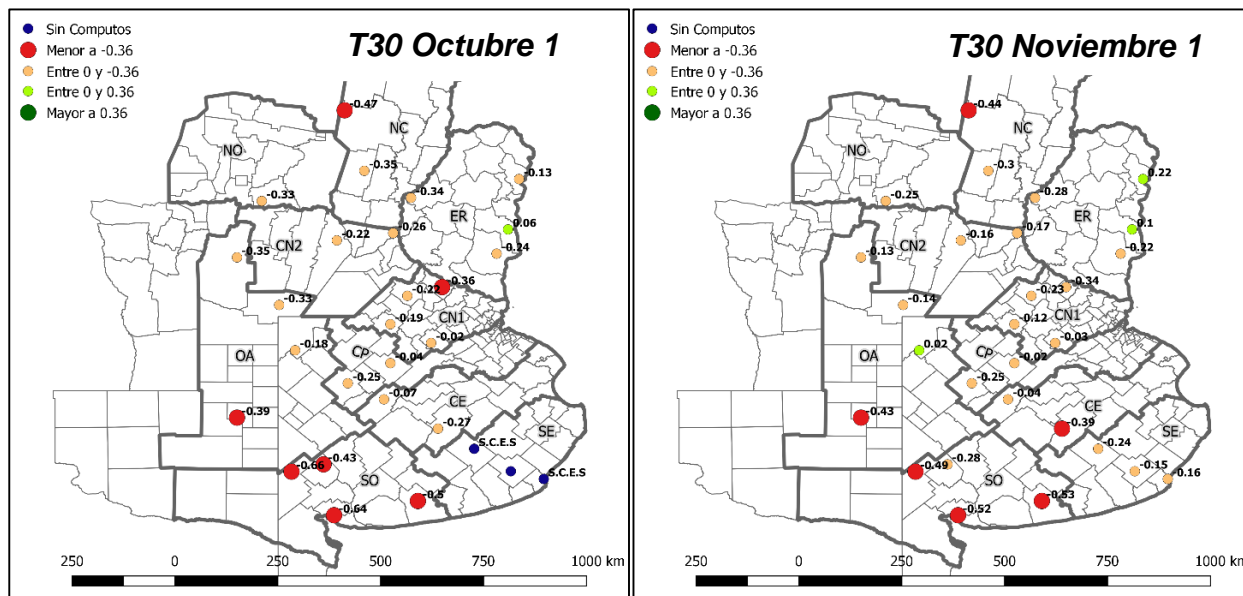


Figura 4.7: Mapas de Correlaciones de rendimiento entre las series de extremos de temperatura T30 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.



| Zona | Lat | Long   | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |       |
|------|-----|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NC   | 1   | -29.88 | -61.93    | Ceres         | 0.40  | 0.37  | -0.01 | -0.39 | -0.22 | -0.08 | -0.02 | -0.30 | -0.20 | -0.09 | 0.19  | 0.14  | 0.09  | -0.45 | -0.38 | -0.36 | -0.15 | SC    | SC    |
| NC   | 1   | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | 0.23  | 0.26  | 0.13  | -0.25 | -0.12 | -0.13 | -0.12 | -0.22 | -0.11 | -0.10 | 0.01  | 0.00  | 0.17  | -0.23 | -0.29 | -0.27 | -0.28 | SC    | SC    |
| ER   | 2   | -31.38 | -58.12    | Concordia     | -0.40 | -0.32 | -0.15 | 0.00  | -0.25 | -0.25 | -0.38 | -0.39 | -0.40 | -0.36 | -0.20 | -0.02 | 0.45  | 0.40  | 0.28  | 0.04  | 0.05  | SC    | SC    |
| ER   | 2   | -31.79 | -60.48    | Parana        | -0.06 | 0.02  | -0.06 | -0.06 | -0.32 | -0.27 | -0.36 | -0.20 | -0.06 | -0.32 | -0.21 | -0.27 | -0.10 | -0.27 | -0.35 | -0.22 | -0.19 | SC    | SC    |
| ER   | 2   | -32.48 | -58.36    | C. Uruguay    | -0.08 | -0.10 | -0.01 | 0.02  | -0.10 | -0.27 | -0.46 | -0.25 | -0.08 | -0.05 | -0.18 | -0.24 | -0.31 | -0.21 | 0.01  | 0.27  | 0.20  | SC    | SC    |
| ER   | 2   | -33.01 | -58.61    | Guauguayct    | -0.10 | -0.12 | 0.02  | 0.13  | -0.08 | -0.13 | -0.35 | -0.26 | -0.22 | -0.32 | -0.33 | -0.33 | -0.06 | -0.01 | 0.09  | 0.12  | 0.13  | SC    | SC    |
| NO   | 3   | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | 0.05  | 0.10  | 0.08  | -0.02 | -0.14 | -0.23 | -0.25 | -0.24 | -0.11 | -0.06 | 0.06  | 0.06  | 0.04  | -0.13 | -0.24 | -0.25 | -0.15 | SC    | SC    |
| CN1  | 4   | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | 0.02  | -0.05 | -0.06 | -0.03 | -0.13 | -0.18 | -0.37 | -0.12 | 0.09  | 0.03  | -0.21 | -0.46 | -0.20 | -0.27 | -0.24 | -0.42 | -0.50 | -0.28 | SC    |
| CN1  | 4   | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | -0.13 | -0.24 | -0.23 | -0.25 | -0.22 | -0.19 | -0.25 | -0.08 | 0.05  | -0.02 | -0.21 | -0.39 | -0.30 | -0.43 | -0.27 | -0.15 | 0.02  | -0.03 | SC    |
| CN1  | 4   | -34.55 | -60.93    | Junin         | -0.04 | -0.01 | -0.08 | -0.06 | -0.18 | -0.27 | -0.37 | -0.20 | 0.01  | -0.14 | -0.28 | -0.39 | -0.27 | -0.36 | -0.37 | -0.45 | -0.40 | -0.37 | SC    |
| CN1  | 4   | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | -0.09 | -0.03 | 0.14  | 0.17  | 0.01  | -0.22 | -0.37 | -0.23 | -0.03 | -0.16 | -0.23 | -0.39 | -0.29 | -0.30 | -0.24 | -0.20 | -0.05 | 0.08  | 0.12  |
| CN2  | 5   | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | 0.07  | 0.06  | -0.13 | -0.34 | -0.31 | -0.20 | -0.24 | -0.11 | 0.05  | -0.12 | -0.13 | -0.18 | -0.05 | -0.38 | -0.37 | -0.13 | -0.07 | SC    | SC    |
| CN2  | 5   | -32.72 | -62.10    | Marcos Juare  | 0.08  | 0.07  | -0.15 | -0.29 | -0.20 | -0.10 | -0.14 | -0.02 | 0.21  | 0.22  | 0.15  | 0.10  | 0.17  | -0.12 | -0.35 | -0.31 | -0.26 | SC    | SC    |
| CP   | 6   | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | -0.12 | -0.07 | -0.24 | 0.09  | 0.06  | 0.09  | -0.05 | -0.09 | -0.03 | -0.22 | -0.32 | -0.47 | -0.39 | -0.36 | -0.42 | -0.65 | -0.53 | -0.35 | -0.1  |
| CP   | 6   | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | -0.01 | -0.05 | -0.24 | -0.19 | -0.25 | -0.14 | -0.29 | -0.17 | -0.02 | -0.17 | -0.34 | -0.44 | -0.28 | -0.36 | -0.31 | -0.54 | -0.49 | -0.49 | -0.11 |
| OA   | 7   | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | -0.26 | -0.35 | -0.40 | -0.30 | -0.09 | -0.12 | -0.11 | -0.07 | 0.15  | 0.31  | 0.22  | 0.12  | -0.05 | -0.13 | -0.20 | -0.18 | -0.22 | SC    | SC    |
| OA   | 7   | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | 0.04  | -0.05 | -0.18 | -0.16 | -0.12 | -0.03 | -0.13 | -0.05 | 0.17  | 0.26  | 0.19  | 0.15  | 0.15  | -0.07 | -0.25 | -0.30 | -0.17 | -0.13 | SC    |
| OA   | 7   | -35.12 | -63.01    | Gral Villegas | -0.13 | -0.08 | 0.01  | -0.10 | -0.23 | -0.25 | -0.45 | 0.06  | 0.32  | 0.58  | 0.54  | 0.41  | 0.16  | -0.10 | -0.39 | -0.32 | -0.26 | -0.04 | SC    |
| OA   | 7   | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | 0.12  | -0.16 | -0.39 | -0.08 | 0.08  | 0.15  | 0.05  | 0.31  | 0.34  | 0.27  | 0.10  | 0.03  | -0.20 | -0.28 | -0.40 | -0.30 | -0.32 | -0.15 | SC    |
| CE   | 8   | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | 0.23  | 0.18  | 0.07  | 0.22  | 0.25  | 0.19  | 0.05  | 0.05  | 0.10  | 0.00  | -0.30 | -0.35 | -0.26 | -0.20 | -0.28 | -0.40 | -0.19 | -0.03 | 0.15  |
| CE   | 8   | -36.83 | -59.89    | Azul          | 0.23  | 0.15  | -0.02 | 0.16  | 0.08  | 0.08  | -0.09 | -0.14 | -0.18 | -0.27 | -0.39 | -0.34 | -0.31 | -0.22 | -0.26 | -0.24 | -0.24 | -0.07 | -0    |
| SE   | 9   | -37.27 | -59.10    | Tandil        | 0.13  | 0.05  | 0.03  | 0.03  | -0.08 | -0.12 | -0.18 | -0.17 | -0.26 | -0.38 | -0.40 | -0.34 | -0.41 | -0.36 | -0.34 | -0.20 | -0.17 | -0.07 | -0.01 |
| SE   | 9   | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | 0.22  | 0.10  | -0.08 | 0.02  | 0.03  | 0.06  | -0.15 | -0.05 | -0.10 | -0.09 | -0.34 | -0.35 | -0.39 | -0.49 | -0.45 | -0.42 | -0.26 | -0.12 | 0.00  |
| SE   | 9   | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | -0.19 | -0.24 | -0.13 | -0.20 | -0.27 | -0.30 | -0.21 | 0.02  | 0.03  | -0.04 | -0.30 | -0.32 | -0.36 | -0.40 | -0.37 | -0.29 | -0.19 | -0.11 | -0.07 |
| SO   | 10  | -37.61 | -62.39    | Pigue         | 0.10  | -0.03 | -0.32 | -0.11 | 0.04  | 0.35  | 0.28  | 0.31  | 0.21  | 0.14  | 0.14  | 0.15  | 0.20  | 0.09  | -0.12 | -0.15 | -0.18 | -0.22 | -0.16 |
| SO   | 10  | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | 0.27  | 0.09  | -0.24 | -0.11 | -0.11 | 0.10  | 0.03  | 0.22  | 0.06  | -0.06 | -0.13 | 0.03  | -0.08 | -0.11 | -0.33 | -0.22 | -0.33 | -0.22 | -0.11 |
| SO   | 10  | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | 0.56  | 0.17  | -0.29 | -0.14 | 0.08  | 0.24  | 0.25  | 0.21  | 0.25  | 0.04  | -0.04 | -0.15 | -0.01 | 0.14  | -0.06 | -0.44 | -0.42 | -0.24 | -0.07 |
| SO   | 10  | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | 0.20  | 0.00  | -0.29 | -0.01 | 0.10  | 0.19  | 0.04  | 0.14  | 0.23  | 0.16  | -0.17 | -0.06 | -0.12 | -0.22 | -0.48 | -0.57 | -0.40 | -0.18 | -0.09 |

Tabla 4.6: Correlaciones entre las series de extremos de tmin TN90 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Las correlaciones significativas (p<0.05) se encuentran resaltadas en las tablas, para el caso de las positivas en color verde y las negativas en color rojo. S.C. (sin cultivo ya que en general ya se ha cosechado).

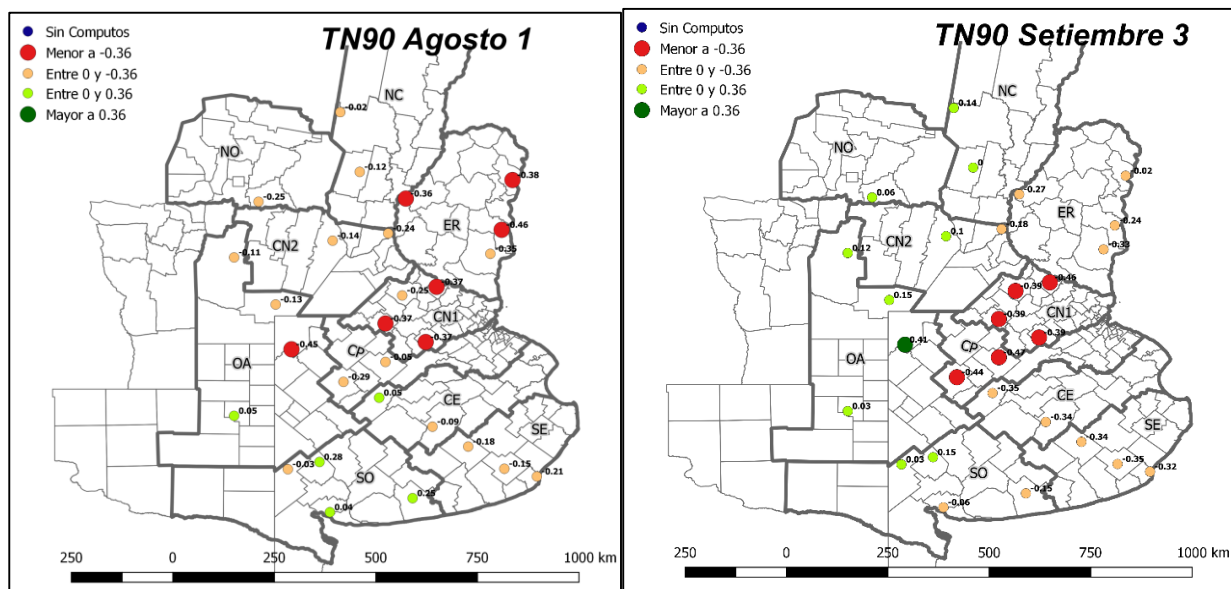


Figura 4.8: Mapas de Correlaciones entre las series de extremos de tmin TN90 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.

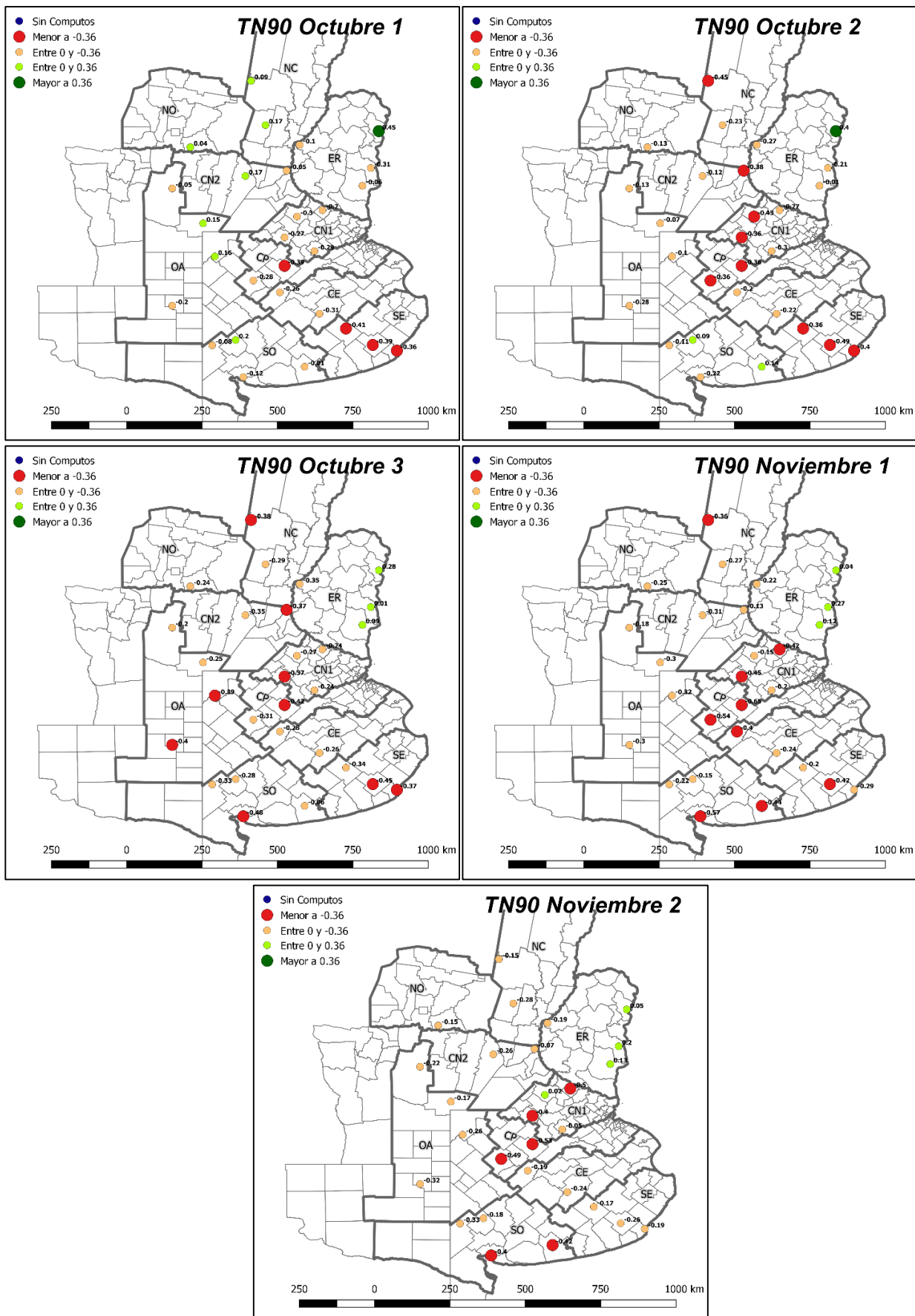


Figura 4.8 (Continuación): Mapas de Correlaciones entre las series de extremos de  $t_{min}$  TN90 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.

En general las correlaciones negativas son las preponderantes con este índice. Espacialmente tienen lugar principalmente en las regiones CN1 y ER. En una segunda etapa, que comienza en la 3<sup>ra</sup> década de septiembre y se prolonga hasta noviembre, la mayor cantidad de relaciones negativas se da en el centro, centro este y sud este de la región analizada, con excepción de la zona NO.

García et al (2012, 2015, 2016) mostraron una influencia negativa del aumento de las temperaturas nocturnas sobre el rendimiento del trigo y cebada, trabajando en parcelas experimentales sin limitaciones hídricas, nutricionales o bióticas. En este trabajo de tesis se observó que las altas temperaturas nocturnas (TN90) afectaron mayormente a los rendimientos en las estaciones ubicadas en el centro y este de la región y, en menor medida, en las estaciones del oeste. Esto podría estar relacionado con las diferencias de almacenaje de agua en el suelo entre el oeste y el este. Hurtado (2005) encuentra una asociación entre el almacenaje de agua del suelo y el rendimiento del cultivo de trigo en la pampa húmeda argentina, y manifiesta que en gran parte de la provincia de Buenos Aires, Entre Ríos y sur de Santa Fe (este de lo analizado), donde existe una abundante disponibilidad hídrica, no hay relaciones significativas entre el almacenamiento y los rendimientos. Los resultados aquí presentados evidencian que la ocurrencia de temperaturas mínimas elevadas adquiere particular importancia en estas zonas donde climáticamente hay una mayor disponibilidad hídrica.

### **TX90**

El impacto de los días con temperaturas máximas anormalmente cálidas fue analizado a través del índice TX90, que representa la frecuencia de días con temperaturas máximas muy cálidas (superiores al percentil 90). La tabla 4.7 y figura 4.9 presentan los resultados obtenidos con este índice térmico.



| Zona | Lat | Long   | Localidad | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1 |       |
|------|-----|--------|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NC   | 1   | -29.88 | -61.93    | Ceres         | 0.15  | 0.02  | -0.23 | -0.40 | -0.33 | -0.15 | -0.18 | -0.38 | -0.37 | -0.11 | 0.07  | 0.07  | 0.02  | -0.42 | -0.48 | -0.44 | -0.20 | SC    | SC    |
| NC   | 1   | -31.20 | -61.50    | Rafaela       | 0.12  | 0.01  | -0.23 | -0.40 | -0.30 | -0.10 | -0.24 | -0.41 | -0.48 | -0.23 | -0.14 | 0.13  | 0.23  | -0.08 | -0.21 | -0.06 | 0.09  | SC    | SC    |
| ER   | 2   | -31.38 | -58.12    | Concordia     | -0.37 | -0.30 | -0.05 | 0.01  | -0.17 | -0.14 | -0.19 | -0.10 | -0.17 | -0.18 | 0.03  | 0.08  | 0.10  | 0.10  | -0.03 | 0.20  | 0.04  | SC    | SC    |
| ER   | 2   | -31.79 | -60.48    | Parana        | -0.03 | 0.04  | -0.05 | -0.03 | -0.36 | -0.19 | -0.32 | 0.00  | -0.10 | -0.18 | -0.20 | -0.11 | 0.07  | -0.31 | -0.25 | -0.29 | -0.04 | SC    | SC    |
| ER   | 2   | -32.48 | -58.36    | C.Uruguay     | 0.01  | 0.05  | 0.02  | 0.02  | -0.18 | -0.20 | -0.36 | -0.18 | -0.18 | -0.10 | -0.14 | -0.16 | 0.01  | 0.04  | 0.00  | -0.14 | -0.14 | SC    | SC    |
| ER   | 2   | -33.01 | -58.61    | Gualeduaych   | -0.05 | -0.15 | -0.18 | -0.02 | -0.19 | -0.03 | -0.14 | -0.01 | -0.20 | -0.41 | -0.21 | -0.07 | 0.18  | -0.13 | -0.16 | -0.20 | -0.18 | SC    | SC    |
| NO   | 3   | -31.86 | -63.74    | Manfredi      | -0.18 | -0.25 | -0.18 | -0.40 | -0.27 | -0.31 | -0.29 | -0.40 | -0.37 | -0.30 | -0.30 | -0.10 | -0.17 | -0.27 | -0.36 | -0.07 | 0.09  | SC    | SC    |
| CN1  | 4   | -33.74 | -59.80    | San Pedro     | -0.02 | 0.06  | 0.02  | 0.02  | -0.37 | -0.24 | -0.42 | -0.05 | -0.09 | 0.02  | -0.34 | -0.30 | -0.10 | -0.22 | -0.31 | -0.39 | -0.26 | -0.14 | SC    |
| CN1  | 4   | -33.93 | -60.56    | Pergamino     | -0.08 | -0.03 | -0.16 | 0.11  | -0.04 | 0.17  | -0.05 | 0.28  | 0.25  | 0.26  | -0.18 | -0.36 | -0.18 | -0.35 | -0.33 | -0.35 | -0.24 | -0.24 | SC    |
| CN1  | 4   | -34.55 | -60.93    | Junin         | -0.03 | -0.04 | -0.14 | 0.00  | -0.18 | 0.01  | -0.04 | 0.26  | 0.24  | 0.27  | 0.02  | -0.06 | 0.08  | -0.04 | -0.19 | -0.23 | -0.16 | 0.09  | SC    |
| CN1  | 4   | -34.96 | -60.04    | Chivilcoy     | 0.13  | 0.23  | 0.08  | 0.38  | 0.16  | 0.29  | -0.11 | 0.16  | 0.07  | 0.13  | -0.08 | -0.19 | -0.07 | -0.04 | 0.02  | 0.01  | 0.11  | 0.10  | 0.11  |
| CN2  | 5   | -32.56 | -60.87    | Oliveros      | -0.23 | -0.13 | -0.26 | -0.28 | -0.38 | -0.08 | -0.13 | -0.02 | -0.11 | -0.06 | -0.09 | 0.08  | 0.16  | -0.26 | -0.42 | -0.37 | -0.30 | SC    | SC    |
| CN2  | 5   | -32.72 | -62.10    | Marcos Juare  | -0.09 | -0.26 | -0.36 | -0.50 | -0.58 | -0.41 | -0.23 | -0.02 | 0.04  | 0.01  | -0.22 | -0.14 | 0.00  | -0.07 | -0.18 | -0.07 | 0.12  | SC    | SC    |
| CP   | 6   | -35.40 | -60.93    | 9 de Julio    | -0.33 | -0.33 | -0.45 | -0.19 | -0.19 | 0.08  | 0.18  | 0.08  | 0.12  | 0.13  | 0.13  | 0.02  | 0.03  | -0.05 | -0.15 | -0.23 | -0.04 | 0.022 | 0.17  |
| CP   | 6   | -35.84 | -61.86    | Pehuajo       | -0.11 | -0.11 | -0.13 | -0.16 | -0.25 | -0.12 | 0.10  | 0.19  | 0.13  | 0.08  | 0.12  | 0.29  | 0.33  | 0.21  | -0.08 | -0.12 | 0.00  | 0.13  | 0.29  |
| OA   | 7   | -33.09 | -64.28    | Río Cuarto    | -0.16 | -0.27 | -0.10 | -0.39 | -0.44 | -0.46 | -0.36 | -0.34 | -0.16 | 0.08  | -0.07 | -0.06 | -0.39 | -0.37 | -0.50 | -0.20 | 0.00  | SC    | SC    |
| OA   | 7   | -34.13 | -63.36    | Laboulaye     | -0.08 | -0.47 | -0.28 | -0.64 | -0.62 | -0.72 | -0.46 | -0.34 | -0.36 | -0.32 | -0.40 | -0.14 | -0.19 | -0.13 | -0.23 | -0.04 | 0.08  | 0.13  | SC    |
| OA   | 7   | -35.12 | -63.01    | Gral Villegas | -0.02 | -0.40 | -0.13 | -0.52 | -0.36 | -0.50 | -0.44 | -0.24 | -0.23 | -0.02 | -0.60 | -0.29 | -0.40 | -0.13 | -0.14 | 0.13  | 0.27  | 0.34  | SC    |
| OA   | 7   | -36.59 | -64.28    | Santa Rosa    | -0.17 | -0.52 | -0.56 | -0.45 | -0.29 | -0.23 | -0.13 | -0.22 | -0.28 | -0.40 | -0.41 | -0.39 | -0.43 | -0.51 | -0.57 | -0.44 | -0.31 | -0.29 | SC    |
| CE   | 8   | -36.19 | -61.07    | Bolivar       | -0.13 | 0.02  | -0.03 | 0.17  | 0.00  | 0.05  | 0.07  | 0.12  | 0.09  | 0.01  | 0.15  | 0.16  | 0.17  | -0.05 | -0.06 | 0.03  | 0.22  | 0.179 | 0.2   |
| CE   | 8   | -36.83 | -59.89    | Azul          | 0.04  | 0.05  | -0.15 | 0.00  | -0.06 | 0.08  | 0.04  | -0.17 | -0.30 | -0.52 | -0.21 | -0.17 | -0.02 | -0.15 | -0.26 | -0.36 | -0.21 | -0.19 | -0    |
| SE   | 9   | -37.27 | -59.10    | Tandil        | 0.05  | 0.18  | 0.09  | 0.13  | -0.06 | -0.02 | -0.01 | -0.08 | -0.11 | -0.21 | -0.05 | -0.19 | -0.10 | -0.09 | -0.03 | -0.17 | -0.18 | -0.20 | -0.02 |
| SE   | 9   | -37.76 | -58.30    | Balcarce      | 0.02  | -0.09 | -0.17 | 0.08  | -0.07 | 0.05  | -0.08 | -0.09 | -0.11 | -0.25 | -0.23 | -0.41 | -0.29 | -0.20 | -0.10 | -0.13 | -0.03 | -0.07 | -0.02 |
| SE   | 9   | -37.93 | -57.58    | Mar De Plata  | 0.07  | 0.04  | -0.18 | -0.22 | -0.37 | -0.25 | -0.38 | -0.23 | -0.23 | -0.10 | -0.26 | -0.29 | -0.35 | -0.19 | -0.06 | -0.03 | 0.11  | 0.10  | 0.06  |
| SO   | 10  | -37.61 | -62.39    | Pigue         | 0.01  | -0.11 | -0.23 | -0.38 | -0.38 | -0.35 | -0.18 | -0.13 | -0.18 | -0.12 | -0.04 | -0.04 | -0.28 | -0.60 | -0.62 | -0.46 | -0.40 | -0.40 | -0.30 |
| SO   | 10  | -37.77 | -63.09    | Bordenave     | -0.11 | -0.20 | -0.28 | -0.51 | -0.48 | -0.46 | -0.23 | -0.15 | -0.23 | -0.30 | -0.37 | -0.38 | -0.44 | -0.61 | -0.64 | -0.52 | -0.45 | -0.35 | -0.31 |
| SO   | 10  | -38.41 | -60.33    | Tres Arroyos  | -0.11 | -0.25 | -0.50 | -0.27 | -0.19 | 0.01  | -0.05 | -0.07 | -0.11 | -0.34 | -0.35 | -0.41 | -0.42 | -0.51 | -0.54 | -0.55 | -0.48 | -0.38 | -0.06 |
| SO   | 10  | -38.72 | -62.16    | Bahia Blanca  | -0.13 | -0.31 | -0.35 | -0.37 | -0.19 | -0.11 | -0.04 | 0.00  | -0.09 | -0.14 | -0.27 | -0.27 | -0.39 | -0.56 | -0.67 | -0.52 | -0.46 | -0.33 | -0.43 |

Tabla 4.7: Correlaciones entre las series de extremos de tmax TX90 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Las correlaciones significativas (p<0.05) se encuentran resaltadas en las tablas, para el caso de las positivas en color verde y las negativas en color rojo. S.C. (sin cultivo ya que en general ya se ha cosechado).

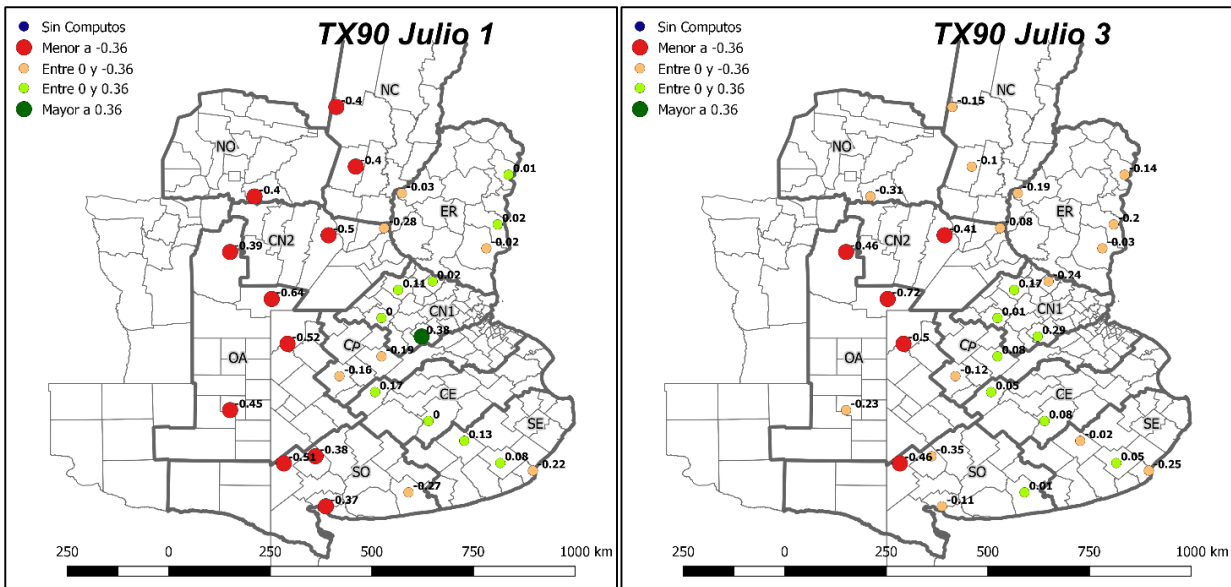


Figura 4.9: Mapas de Correlaciones entre las series de extremos de tmax TX90 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.

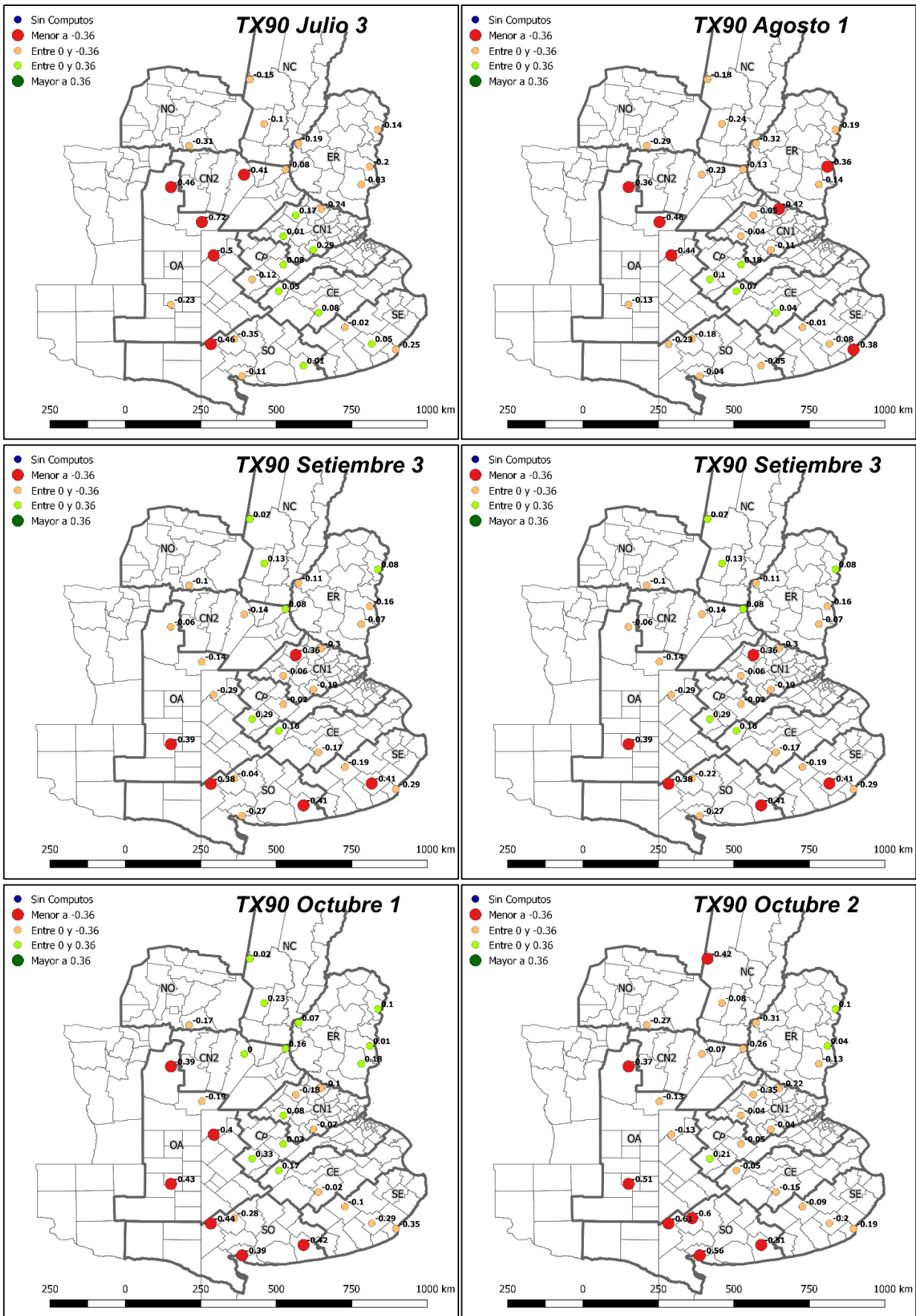
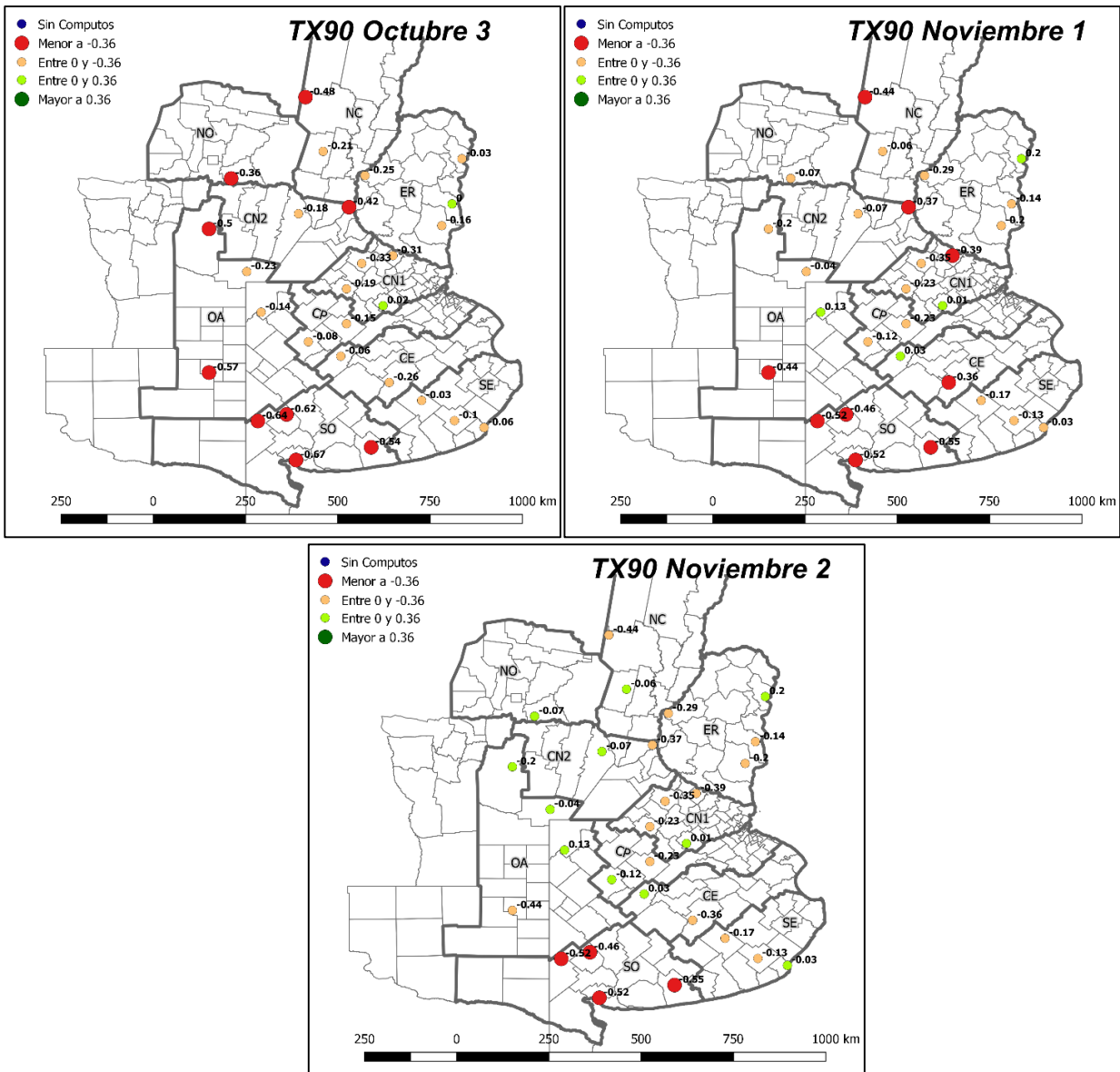


Figura 4.9 (Continuación): Mapas de Correlaciones entre las series de extremos de tmax TX90 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.



**Figura 4.9 (Continuación): Mapas de Correlaciones entre las series de extremos de tmax TX90 con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada Se muestran únicamente meses que tengan 4 o más estaciones con correlaciones significativas.**

Este índice, que representa la frecuencia de días cálidos, es el que (sin considerar a la amplitud térmica), mayor proporción de relaciones significativas presentó. Puede verse en la tabla 2.3 que gran parte de Noviembre y diciembre este índice toma en cuenta temperaturas compatibles con golpe de calor (entre 30° y 35° C), pero también en el resto del periodo analizado tienen en consideración la ocurrencia de las denominadas temperaturas moderadamente altas.

Si bien la mayor cantidad de relaciones significativas se presentan en todas las zonas analizadas, a diferencia de lo visto en el índice TN90 se dan particularmente en el Oeste (OA y SO) y Norte (NC y NO).

Estos resultados estarían acorde a lo manifestado por Calviño (2002) en cuanto a que las altas temperaturas producen una disminución del rendimiento de trigo, siendo mayores para el caso de suelos pocos profundos (típicos del sudoeste bonaerense) probablemente por un efecto combinado de temperatura y déficit hídrico.

## DTR

Este índice, como ya fue mencionado, expresa la diferencia media mensual entre las tmax y tmin, y es señalado como indicador de la variabilidad y cambio climático (Braganza et al. 2004). En la tabla 4.8 y figura 4.10 se presentan los resultados de las correlaciones entre el índice DTR y los rendimientos de trigo en las distintas localidades estudiadas.

| Zona | Lat. | Long.      | Localidad  | Jun_1         | Jun_2 | Jun_3 | Jul_1 | Jul_2 | Jul_3 | Ago_1 | Ago_2 | Ago_3 | Set_1 | Set_2 | Set_3 | Oct_1 | Oct_2 | Oct_3 | Nov_1 | Nov_2 | Nov_3 | Dic_1  |       |
|------|------|------------|------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| NC   | 1    | -29.877221 | -61.932616 | Ceres         | -0.44 | -0.62 | -0.28 | -0.09 | 0.13  | 0.17  | -0.08 | -0.16 | -0.45 | -0.20 | -0.21 | -0.07 | -0.17 | -0.10 | -0.04 | -0.01 | -0.09 | -0.20  | -0.24 |
| NC   | 1    | -31.196454 | -61.496294 | Rafaela       | -0.24 | -0.51 | -0.40 | -0.13 | -0.11 | -0.05 | -0.28 | -0.19 | -0.51 | -0.28 | -0.33 | -0.12 | -0.18 | 0.09  | 0.10  | 0.03  | -0.20 | -0.08  | -0.20 |
| ER   | 2    | -31.380993 | -58.115055 | Concordia     | -0.04 | -0.18 | -0.25 | -0.19 | 0.16  | 0.04  | 0.22  | 0.13  | 0.37  | 0.20  | 0.28  | 0.07  | -0.02 | -0.19 | 0.01  | 0.24  | 0.22  | 0.06   | 0.08  |
| ER   | 2    | -31.789896 | -60.484550 | Parana        | -0.33 | -0.32 | -0.31 | -0.02 | -0.19 | -0.08 | -0.29 | 0.00  | -0.21 | -0.07 | -0.05 | 0.23  | 0.24  | 0.16  | -0.07 | -0.05 | -0.08 | -0.06  | -0.18 |
| ER   | 2    | -32.482592 | -58.358790 | C.Uruguay     | -0.09 | -0.11 | -0.06 | 0.04  | -0.22 | -0.20 | -0.12 | 0.13  | 0.16  | 0.11  | 0.15  | 0.32  | 0.46  | 0.35  | 0.18  | 0.09  | 0.17  | 0.17   | 0.15  |
| ER   | 2    | -33.012377 | -58.609487 | Gualeguaychu  | 0.06  | 0.09  | 0.13  | 0.27  | -0.11 | -0.06 | -0.05 | 0.14  | 0.09  | 0.08  | 0.27  | 0.41  | 0.49  | 0.24  | -0.06 | -0.18 | -0.14 | -0.12  | -0.10 |
| NO   | 3    | -31.860241 | -63.738699 | Manfredi      | -0.10 | -0.44 | -0.24 | -0.04 | -0.08 | -0.22 | -0.09 | -0.30 | -0.16 | -0.31 | -0.20 | -0.29 | -0.16 | -0.05 | 0.25  | 0.48  | 0.65  | 0.56   |       |
| CN1  | 4    | -33.738102 | -59.795465 | San Pedro     | 0.00  | 0.07  | 0.03  | 0.11  | 0.00  | 0.00  | 0.06  | -0.03 | -0.09 | -0.06 | 0.11  | 0.36  | 0.44  | 0.29  | 0.18  | 0.00  | 0.08  | 0.10   | 0.19  |
| CN1  | 4    | -33.933516 | -60.558469 | Pergamino     | 0.03  | 0.09  | 0.15  | 0.40  | 0.25  | 0.30  | 0.24  | 0.26  | 0.03  | -0.05 | -0.01 | 0.28  | 0.41  | 0.30  | 0.19  | 0.06  | 0.04  | 0.01   | 0.03  |
| CN1  | 4    | -34.552151 | -60.931614 | Junin         | 0.07  | -0.02 | -0.04 | 0.30  | 0.34  | 0.46  | 0.52  | 0.50  | 0.31  | 0.29  | 0.28  | 0.45  | 0.56  | 0.53  | 0.52  | 0.45  | 0.39  | 0.31   | 0.28  |
| CN1  | 4    | -34.961076 | -60.036261 | Chivilcoy     | -0.09 | -0.03 | 0.17  | 0.24  | 0.06  | 0.12  | 0.17  | 0.31  | 0.34  | 0.47  | 0.42  | 0.40  | 0.23  | 0.23  | 0.22  | 0.31  | 0.38  | 0.27   | 0.22  |
| CN2  | 5    | -32.561673 | -60.865662 | Oliveros      | -0.22 | -0.32 | -0.23 | 0.10  | -0.01 | 0.11  | -0.08 | -0.09 | -0.29 | -0.30 | -0.14 | 0.17  | 0.29  | 0.25  | 0.03  | 0.01  | -0.08 | 0.01   | -0.06 |
| CN2  | 5    | -32.719863 | -62.103927 | Marcos Juarez | -0.16 | -0.34 | -0.18 | 0.06  | 0.03  | -0.06 | -0.24 | -0.24 | -0.40 | -0.37 | -0.38 | -0.10 | -0.09 | -0.01 | -0.12 | 0.10  | 0.26  | 0.37   | 0.18  |
| CP   | 6    | -35.403997 | -60.933702 | 9 de Julio    | -0.09 | -0.05 | 0.18  | 0.30  | 0.17  | 0.20  | 0.19  | 0.24  | 0.27  | 0.35  | 0.35  | 0.32  | 0.18  | 0.19  | 0.21  | 0.32  | 0.37  | 0.284  | 0.273 |
| CP   | 6    | -35.843445 | -61.861453 | Pehuajo       | 0.13  | 0.16  | 0.26  | 0.36  | 0.52  | 0.47  | 0.47  | 0.38  | 0.32  | 0.29  | 0.28  | 0.42  | 0.47  | 0.54  | 0.53  | 0.55  | 0.55  | 0.48   | 0.50  |
| OA   | 7    | -33.094999 | -64.276911 | Río Cuarto    | 0.21  | 0.10  | 0.07  | -0.30 | -0.22 | -0.28 | -0.24 | -0.34 | -0.47 | -0.55 | -0.46 | -0.22 | -0.25 | -0.30 | -0.29 | -0.11 | 0.11  | 0.20   | 0.08  |
| OA   | 7    | -34.128938 | -63.364628 | Laboulaye     | 0.07  | 0.07  | 0.09  | 0.04  | -0.14 | -0.37 | -0.42 | -0.36 | -0.50 | -0.45 | -0.54 | -0.32 | -0.41 | -0.30 | -0.22 | -0.11 | 0.08  | 0.14   | 0.27  |
| OA   | 7    | -35.115465 | -63.008593 | GralVillegas  | -0.56 | -0.42 | -0.62 | -0.71 | -0.51 | -0.31 | -0.52 | -0.72 | -0.77 | -0.74 | -0.74 | -0.44 | -0.31 | -0.13 | -0.18 | -0.58 | -0.40 | -0.23  | -0.10 |
| OA   | 7    | -36.587996 | -64.275628 | Santa Rosa    | -0.13 | -0.28 | -0.26 | -0.40 | -0.34 | -0.27 | -0.44 | -0.47 | -0.47 | -0.52 | -0.53 | -0.56 | -0.62 | -0.68 | -0.66 | -0.42 | -0.06 | -0.07  | -0.14 |
| CE   | 8    | -36.188068 | -61.074075 | Bolivar       | -0.42 | -0.32 | -0.17 | -0.13 | -0.12 | 0.00  | 0.03  | -0.02 | 0.08  | 0.11  | 0.26  | 0.17  | 0.17  | 0.07  | 0.07  | 0.14  | 0.19  | 0.033  | 0.086 |
| CE   | 8    | -36.833793 | -59.888185 | Azul          | -0.44 | -0.52 | -0.47 | -0.37 | -0.30 | -0.23 | -0.21 | -0.28 | -0.09 | -0.06 | 0.21  | 0.04  | 0.07  | -0.10 | -0.18 | -0.13 | -0.19 | -0.259 | -0.25 |
| SE   | 9    | -37.268483 | -59.095364 | Tandil        | -0.13 | -0.01 | 0.05  | 0.06  | 0.14  | 0.03  | 0.05  | -0.11 | 0.16  | 0.15  | 0.28  | 0.09  | 0.21  | 0.18  | 0.14  | 0.10  | 0.09  | -0.02  | 0.02  |
| SE   | 9    | -37.760735 | -58.298477 | Balcarce      | -0.08 | -0.13 | -0.07 | 0.02  | 0.04  | -0.11 | 0.00  | -0.06 | 0.09  | -0.05 | -0.07 | -0.14 | 0.02  | 0.16  | 0.22  | 0.27  | 0.18  | 0.13   | 0.07  |
| SE   | 9    | -37.934427 | -57.579521 | Mar De Plata  | 0.07  | 0.06  | 0.05  | 0.05  | 0.16  | -0.06 | -0.05 | -0.16 | -0.02 | -0.11 | -0.10 | -0.08 | 0.06  | 0.19  | 0.19  | 0.27  | 0.25  | 0.30   | 0.24  |
| SO   | 10   | -37.609346 | -62.386185 | Pigue         | 0.05  | -0.20 | -0.21 | -0.26 | -0.27 | -0.35 | -0.33 | -0.28 | -0.39 | -0.51 | -0.62 | -0.74 | -0.75 | -0.72 | -0.52 | -0.30 | -0.29 | -0.16  | -0.30 |
| SO   | 10   | -37.767585 | -63.093998 | Bordenave     | -0.26 | -0.18 | -0.28 | -0.46 | -0.55 | -0.59 | -0.52 | -0.51 | -0.52 | -0.54 | -0.60 | -0.62 | -0.58 | -0.65 | -0.58 | -0.57 | -0.56 | -0.51  | -0.58 |
| SO   | 10   | -38.407825 | -60.326558 | Tres Arroyos  | -0.51 | -0.36 | -0.34 | -0.23 | -0.24 | -0.03 | -0.23 | -0.20 | -0.08 | 0.06  | -0.11 | -0.27 | -0.34 | -0.34 | -0.53 | -0.44 | -0.46 | -0.24  | -0.26 |
| SO   | 10   | -38.716573 | -62.163179 | Bahia Blanca  | -0.11 | -0.23 | -0.33 | -0.47 | -0.35 | -0.16 | -0.08 | -0.16 | -0.35 | -0.36 | -0.44 | -0.58 | -0.60 | -0.62 | -0.45 | -0.36 | -0.25 | -0.22  | -0.22 |

**Tabla 4.8: Correlaciones entre las series de extremos de temperatura DTR con los residuos de los rendimientos de cada partido/departamento de la estación analizada. Las correlaciones significativas (p<0.05) se encuentran resaltadas en las tablas, para el caso de las positivas en color verde y las negativas en color rojo.**

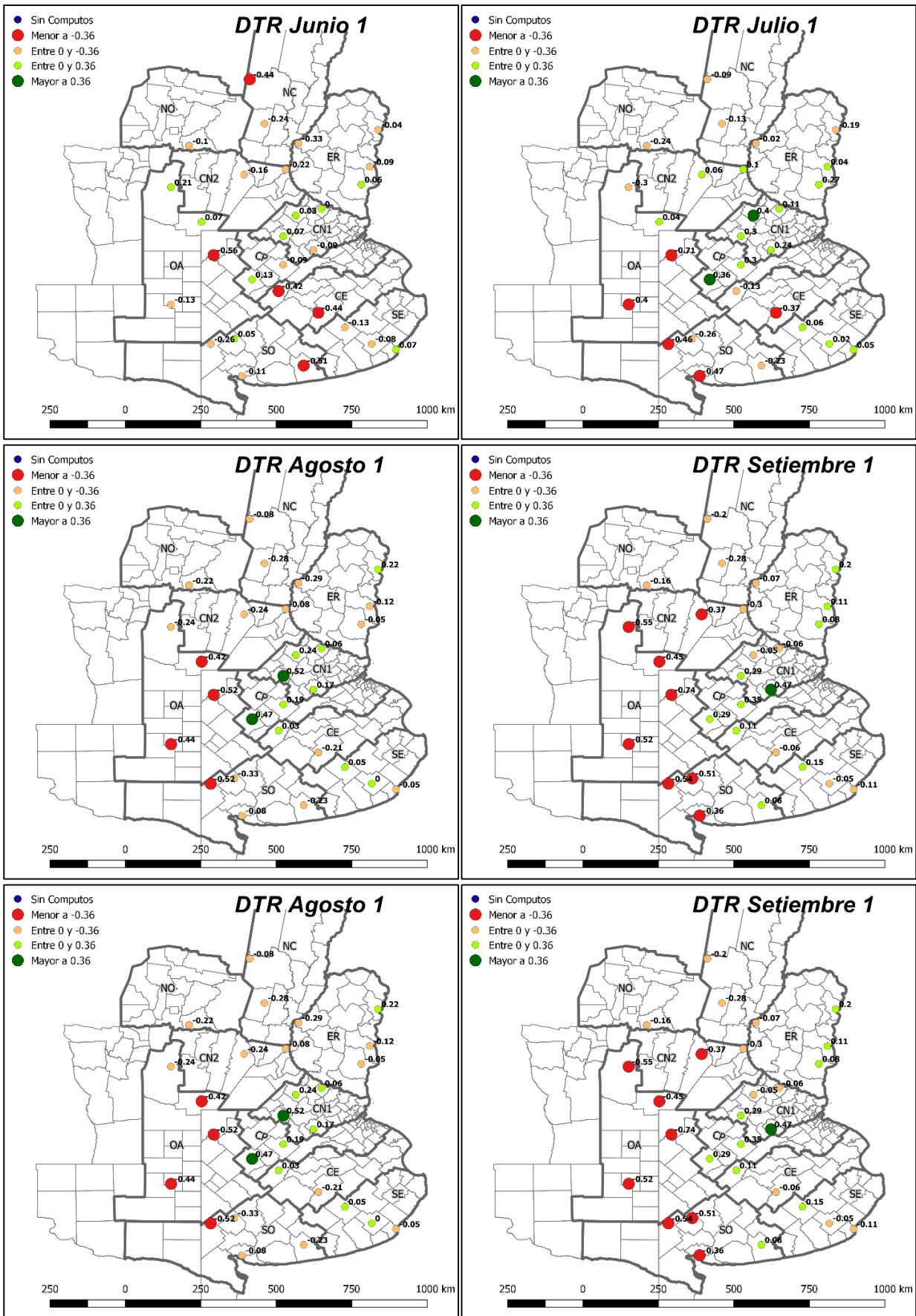


Figura 4.10: Mapas de Correlaciones de rendimiento con amplitud térmica (DTR). Dado que la gran mayoría de décadas presento más de 4 estaciones con correlaciones significativas a excepción de diciembre, se muestran únicamente las décadas que coinciden con inicio de mes.

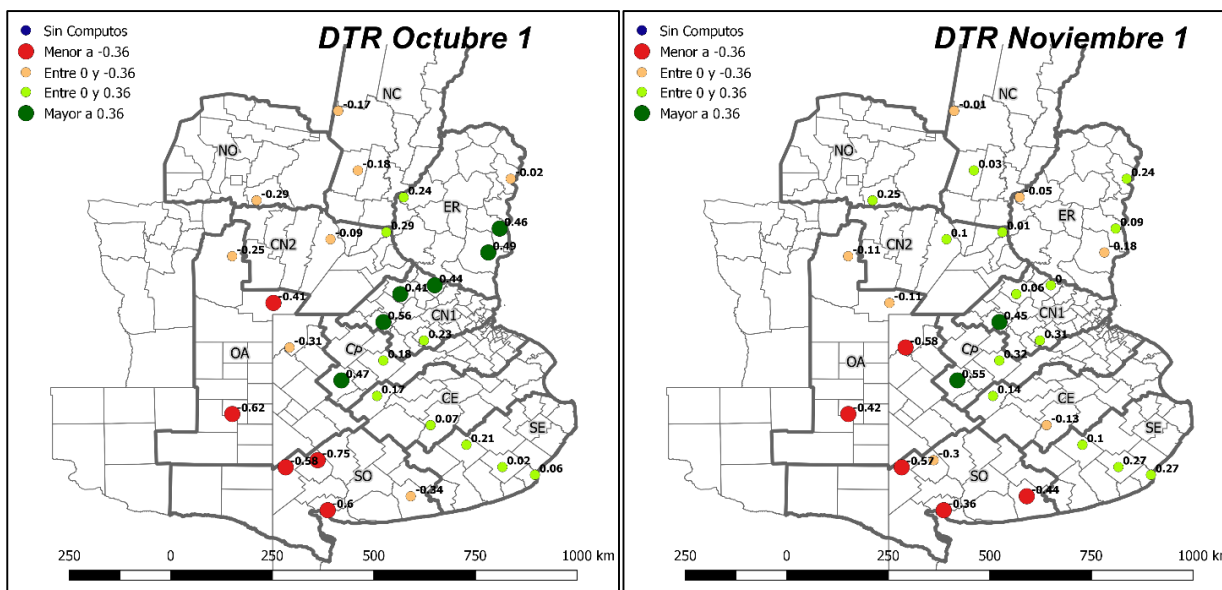


Figura 4.10 (Continuación): Mapas de Correlaciones de rendimiento con amplitud térmica (DTR). Dado que la gran mayoría de décadas presento más de 4 estaciones con correlaciones significativas a excepción de diciembre, se muestran únicamente las décadas que coinciden con inicio de mes.

Este índice, junto con TX90, son los que en general más relaciones significativas han presentado. Aquí se muestran mayormente relaciones positivas en las zonas ubicadas en el centro este (ER, CN1, CP) y negativas en el las zonas ubicadas al oeste (OA, SO) y Norte (NC) y solo durante junio en la zona CP.

Climáticamente las estaciones del este son más húmedas que las del oeste, más allá que debido a la variabilidad interanual, algunos años son más húmedos y otros más secos (SMN Mapas Climáticos; Hurtado 2005; Calviño 2002). Considerando los resultados obtenidos analizando tmin cálidas, tmax cálidas y la amplitud térmica, se observa que las localidades climáticamente más secas serían más sensibles a los extremos cálidos (por lo que un aumento de DTR por incremento de días cálidos sería perjudicial, de allí la relación inversa DTR-rendimiento), mientras que las localidades más húmedas estarían más influenciadas por los extremos de tmin cálida (por lo que una disminución de la amplitud térmica, producto de elevadas temperaturas mínimas resultaría perjudicial). El DTR, por tanto, tendría impactos diferenciados en función de las características del lugar. Esto fue observado por otros autores, en estudios de otras regiones del mundo. Lobell (2007) señala que el DTR tuvo efectos negativos y estadísticamente significativos en los rendimientos en Australia y Canadá, mientras que tuvo un efecto positivo en Francia. Se cree que las disminuciones de DTR benefician los rendimientos en esta región debido a la reducción asociada en la aparición de heladas. Los mecanismos detrás del efecto positivo en Francia, en cambio, son menos claros. Por otro lado el aumento de DTR se asocia a menudo con una mayor radiación solar, y en trigo puede dar lugar a una mayor captura de recursos (Lobell y Ortiz-Monasterio 2007). Asimismo, Lobell (2007) afirma

que los cambios de DTR están fuertemente correlacionados con los cambios en la precipitación. Una mayor precipitación está asociada con una mayor cobertura de nubes que tiende a reducir DTR. Esta colinealidad hace que sea difícil, continua el mismo autor, separar los efectos del DTR de la precipitación en un modelo empírico.

En función de los antecedentes mencionados, y los resultados aquí encontrados, se puede concluir que el DTR, al involucrar información de  $t_{max}$ ,  $t_{min}$  e, indirectamente, humedad, es un índice altamente correlacionado con los rendimientos de trigo. El efecto de este índice no es universal, puede ser positivo o negativo a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Para el caso de la pampa húmeda, se evidencia que las localidades del oeste son más sensibles al aumento de DTR por  $t_{max}$  elevadas, mientras que las localidades del este son más sensibles a la disminución de DTR por aumento de  $t_{min}$  elevadas.

# **CAPITULO 5**

**Estadística de diferencias de rendimiento bajo condiciones térmicas extremas opuestas**



## Introducción

En el capítulo 4 se exploró la influencia de las temperaturas extremas sobre los rendimientos de trigo en distintas regiones de la Pampa Húmeda a través de cálculos de correlaciones. En este capítulo, se complementará este análisis utilizando otra metodología que tiene en cuenta, en particular, los años, con condiciones térmicas extremas (altos y bajos valores de índice). En este capítulo se busca caracterizar cuantitativamente los rendimientos obtenidos en años con alta frecuencia de eventos extremos. Las distribuciones de rendimientos correspondientes a estos años, son comparados estadísticamente con el test de Wilcoxon (Wilcoxon, 1945) con un nivel de significancia del 5% ( $p < 0.05$ ), de manera de establecer si estas diferencias son estadísticamente significativas. El test de suma de rangos Wilcoxon es un test no paramétrico que permite testear las distribuciones de dos muestras independientes X (de  $n_1$  elementos) e Y (de  $n_2$  elementos). El test combina las  $n_1 + n_2 = n$  observaciones y las clasifica en orden de magnitud, desde un rango igual a 1 (la más pequeña) a un rango igual a  $n$  (la más grande). Luego se suman los rangos de las observaciones de cada una de las muestras por separado. Si las observaciones se seleccionaron de poblaciones idénticas, las sumas de rango para las muestras deben ser más o menos proporcionales a los tamaños muestrales  $n_1$  y  $n_2$ . Si  $n_1$  y  $n_2$  fueran iguales, se espera que las sumas de rango sean casi iguales. Por otro lado, si las observaciones en la muestra X, por ejemplo, tienden a ser mayores que las de la muestra Y, las observaciones de la muestra X tenderían a recibir clasificaciones más altas, lo que indicaría una diferencia importante, desde el punto de vista estadístico, de las distribuciones de las dos poblaciones. Mayores detalles sobre el test, características, y valores críticos para determinar la significancia pueden encontrarse en Wackerly et al (2010). En este trabajo se plantea como hipótesis nula que la distribución de rendimientos obtenidos en los años en los que se registraron altos valores del índice térmico en el período “mensual decadal”  $i$  es igual la obtenida en los años en los que se registraron bajos valores del índice en el período mensual decadal  $i$ , con  $i=1$  para el período Jun\_1 hasta  $i=19$  para el período dic\_1. Las definiciones de Jun\_1, Jun\_2, Jun\_3, Jul\_1, ..., Dic\_1 son las definidas en el capítulo 3 (“mensual decadal”).

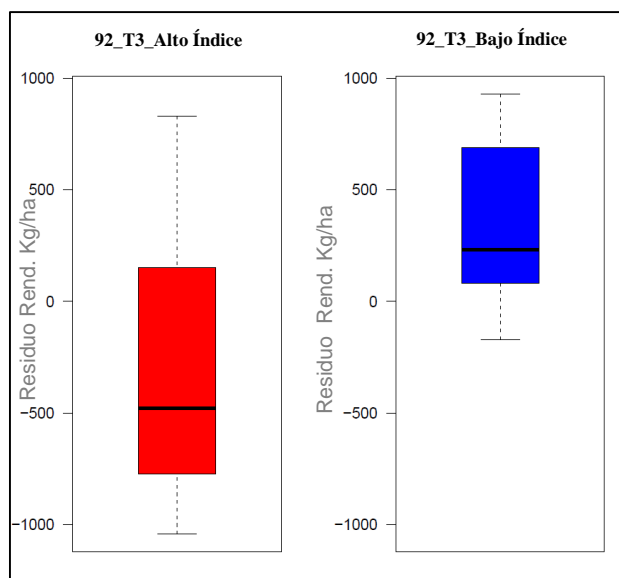
La elección de años con condiciones térmicas extremas en cada período mensual decadal se realizó considerando el percentil 70 y 30 de cada índice. Para aquellas estaciones y períodos que presentaron una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), se efectuó un análisis de la distribución de rendimientos asociados a cada extremo térmico (altos y bajos valores de cada índice) mediante un diagrama de cajas (boxplot), lo que permitió determinar si la relación significativa encontrada era directa (mayor valor de índice mayor rendimiento) o inversa (mayor valor de índice menor rendimiento).

Los resultados significativos se encuentran representados en distintos mapas (figuras 5.2 a 5.6) permitiendo de esta forma tener una comparación global de los diferentes departamentos estudiados.

## Impacto de los extremos fríos

### T0 y T3

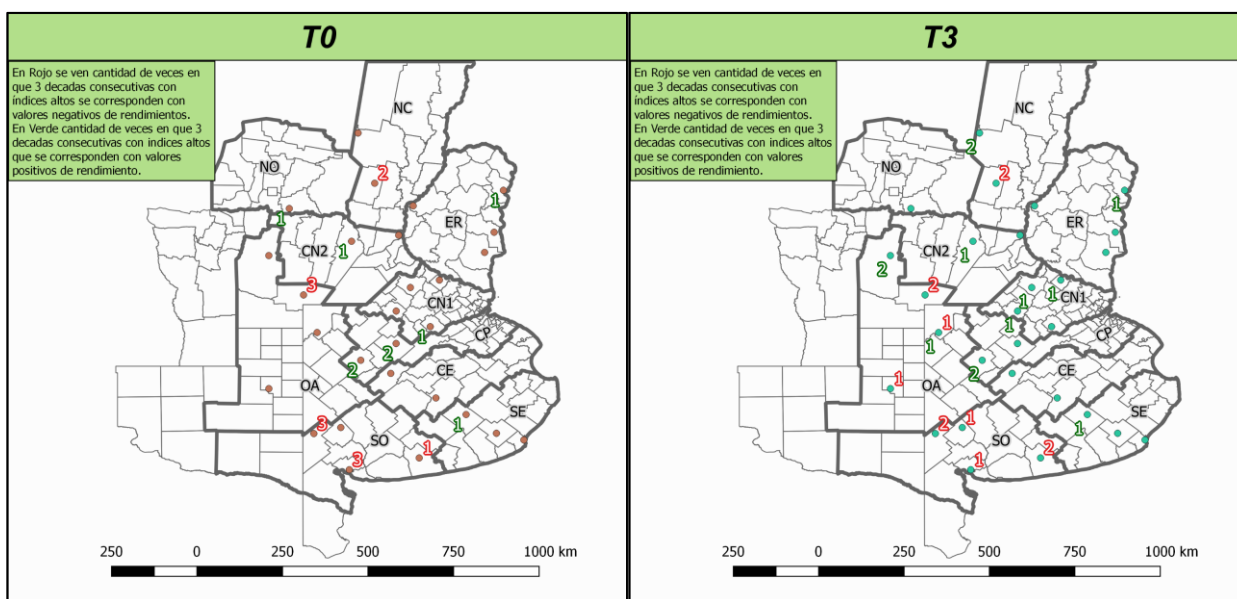
La figura 5.1 presenta un ejemplo de las distribuciones de los residuos de rendimientos asociadas con años con "alto" y "bajo" índice T3 para 3 décadas consecutivas (con inicio en la segunda década de setiembre) en la estación Bordenave. Allí puede verse que las distribuciones de los residuos de rendimientos asociados con años de alto y bajo índice han sido significativamente distintas (característica confirmada por el test de Wilcoxon), siendo la mediana de la distribución asociada con "alto T3" mucho menor a la "bajo T3". Las distribuciones evidencian la existencia de casos especiales en las que algún año con "alto T3" tuvo un alto rendimiento. Esto no es, sin embargo, lo más frecuente.



**Figura 5.1: Boxplot de distribución de los residuos de rendimientos asociados con años con alto (panel izquierdo) y bajo (panel derecho) valor de índice T3 para el período set\_2 a oct\_1 (estación Bordenave).**

En el capítulo 4 pudo verse que estos índices tienen correlaciones positivas o negativas con los rendimientos dependiendo del período considerado. El análisis realizado con la prueba Wilcoxon considerando los casos extremos del índice, arrojaron resultados congruentes con los resultados obtenidos previamente, encontrándose décadas donde índices altos presentaban valores de residuos

de rendimiento negativos y viceversa (de ahora en más relación inversa), y otras en donde índices altos presentaban residuos de rendimientos positivos y viceversa (de ahora en más relación directa). En la figura 5.2 (y subsiguientes) se resume el número de períodos en los que se observó un rendimiento significativamente distinto al comparar casos con alto y bajo valor de índice, sobre un total de 19 períodos (Jun\_1 a dic\_1). En particular se muestra en color rojo el número de décadas asociadas con rendimientos negativos, para altos valores del índice, y en color verde, el número de décadas asociadas con rendimientos positivos, también asociados a índices altos.

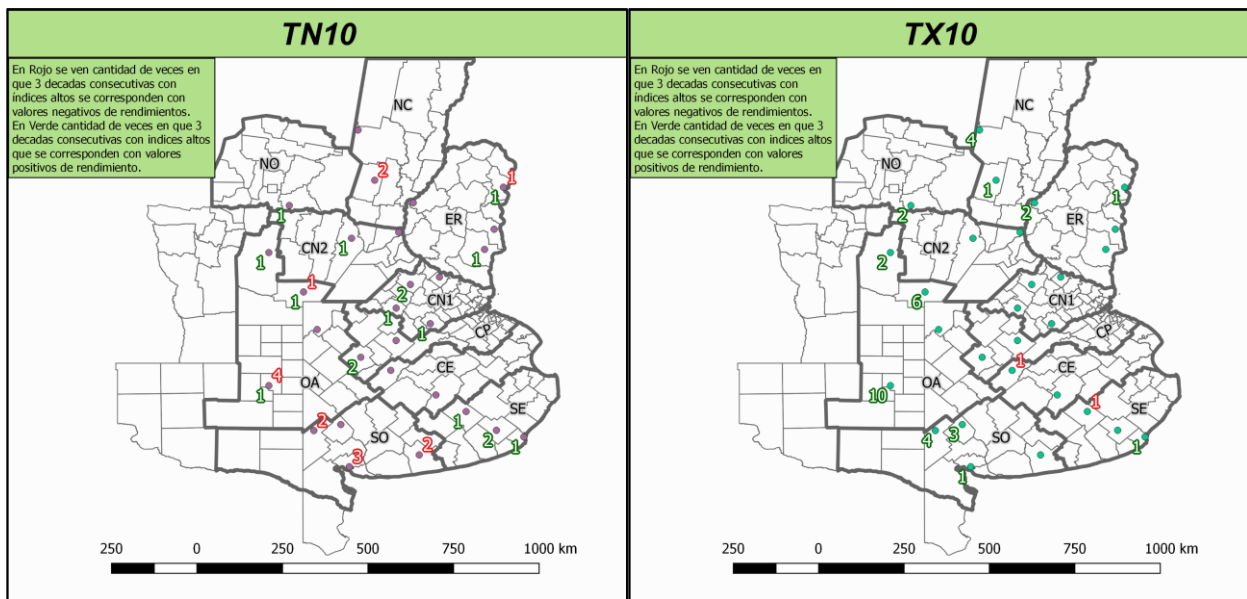


**Figura 5.3: Mapas de totales de tres décadas consecutivas con distribuciones significativamente distintas (donde la prueba de Wilcoxon tiene un  $p < 0.05$ ). Izquierda T0 y Derecha T3.**

Aunque en los mapas no se pueda ver el detalle, las relaciones inversas se dieron en época de germinación - emergencia, las directas con posterioridad al mismo (caso de los presentados en la región centro y norte de Buenos Aires) y nuevamente inversas en periodos más avanzados. Estas últimas se dieron mayormente en las estaciones ubicadas en las regiones al oeste de la zona analizada.

### TN10 y TX10

De la misma manera a T0 y T3, se presentan los resultados correspondientes a TN10 y TX10 en la Figura 5.3.



**Figura 5.4: Mapas de totales de tres décadas consecutivas con distribuciones significativamente distintas (donde la prueba de Wilcoxon tiene un  $p < 0.05$ ). Izquierda TN10 y Derecha TX10.**

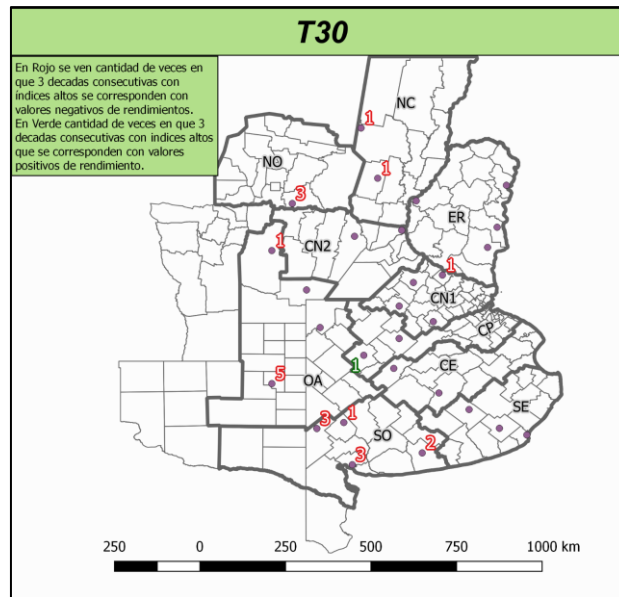
El índice TN10 (noches frías), mantiene resultados similares a los encontrados con los índices con umbrales fijos como TN3, pero como en el capítulo 4, la cantidad de períodos donde la prueba de Wilcoxon presentó un resultado significativo ( $p < 0.05$ ), fue mayor. En el **sudoeste** predominan las **relaciones inversas**, mientras que en el **centro y norte de Buenos Aires** presentan **relaciones directas**.

Por su parte las  $t_{max}$  diurnas por debajo del percentil 10 **TX10 (días fríos)** presentaron en general **relaciones directas**, esto muestra un marcado efecto positivo sobre el rendimiento del trigo. **Espacialmente se presenta sobre todo en el SO, OA, NO y NC.**

## Impacto de extremos cálidos

### T30

En el capítulo 4 se mostró que este índice presentaba mayormente correlaciones negativas. El análisis realizado considerando los valores extremos de índice coincide con lo antes visto y extiende el resultado a otras localidades donde la correlación, aunque negativa, no había resultado significativa (ej, Río Cuarto, Córdoba) (figura 5.4).

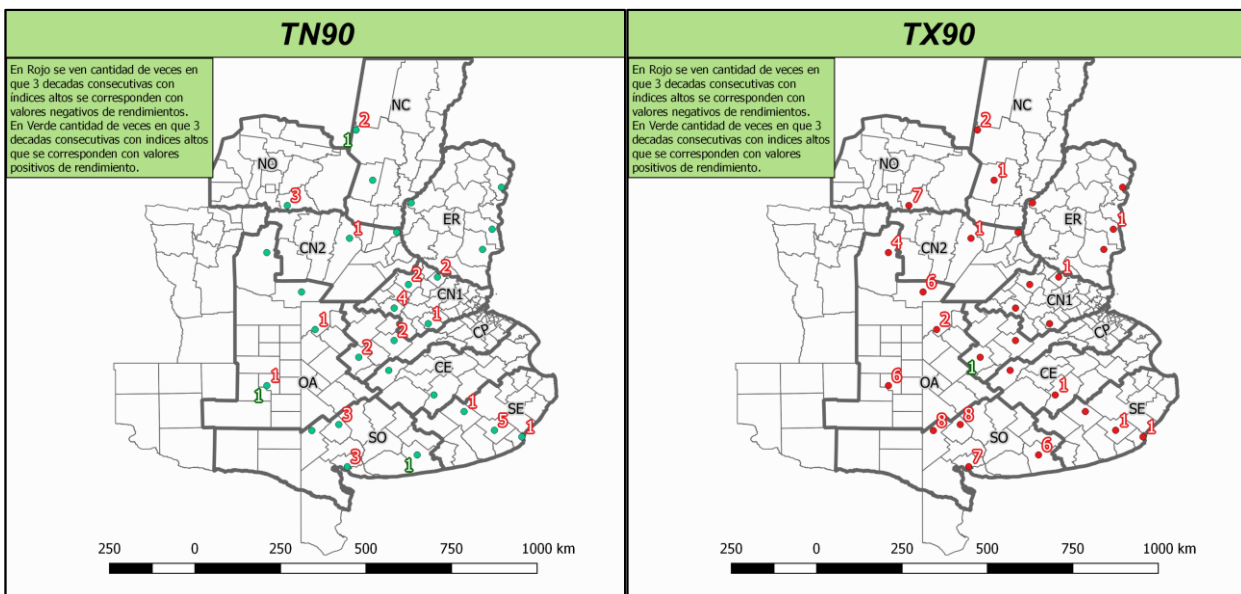


**Figura 5.5: Mapas de totales de tres décadas consecutivas con distribuciones significativamente distintas (donde la prueba de Wilcoxon tiene un  $p < 0.05$ ).**

A nivel regional este índice tiene una mayor influencia en las zonas ubicadas al **Oeste** de la región analizada, sobre todo en la zona SO, pero también en el OA (especialmente en la estación de Santa Rosa), NO y CN1.

### TN90 y TX90

En la Figura 5.5 se presentan los mapas resúmenes de los resultados correspondientes a TN90 y TX90.



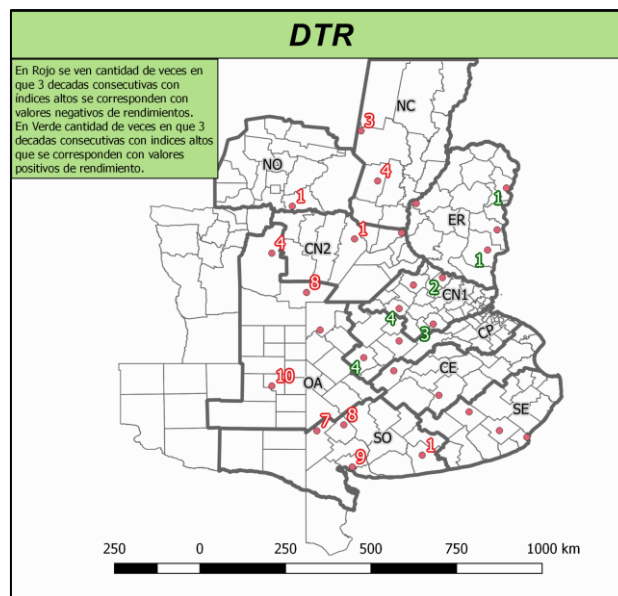
**Figura 5.6: Mapas de totales de tres décadas consecutivas con distribuciones significativamente distintas (donde la prueba de Wilcoxon tiene un  $p < 0.05$ ). Izquierda TN90 y Derecha TX90.**

Los índices TN90 y TX90 presentan en general relaciones inversas, si bien con características distintivas ya sea se trate de días cálidos (TX90), o noches cálidas (TN90). En el caso del índice TX90, la mayoría de las relaciones negativas se dan mayormente **en el oeste** de la zona analizada (regiones SO, OA y NO) y en menor medida en las regiones SE, CE, CN2 y NC. Mientras que las de las noches cálidas (TN90) se dan principalmente en las regiones SE, CP, CN1 y NO y en algunas estaciones del NC, SO y OA.

La mayor cantidad de décadas asociadas con mermas en los rendimientos, observadas con el índice TX90 respecto a TN90, ya había sido reflejada en el cálculo de correlaciones. Altos valores de temperatura máxima tienen un efecto negativo sobre los rendimientos en cualquier etapa del ciclo del cultivo, mientras que elevados valores de temperatura mínima, no estarían afectando en forma significativa los primeros estadios (resultados no mostrados). Esto estaría acorde a lo encontrado por García et al (2015) en cuanto a la mayor influencia de los incrementos en las temperaturas nocturnas sobre los rendimientos de trigo durante el periodo crítico.

## DTR

Finalmente, en la Figura 5.6 se presentan los resultados correspondientes a DTR.



**Figura 5.7: Mapas de totales de tres décadas consecutivas con distribuciones significativamente distintas (donde la prueba de Wilcoxon tiene un  $p < 0.05$ ).**

Este índice presenta relaciones diferentes en dos zonas bien definidas: el sudoeste y noreste (zonas SO, OA, CN2, NO y NC), con relaciones inversas con el rendimiento, y la zona norte de Buenos Aires y este de Entre Ríos (zonas CP, CN1 y este de ER), que muestra valores positivos. Los

resultados concuerdan con las relaciones encontradas con el análisis de correlación presentado en el capítulo 4.

Los resultados obtenidos son consistentes con los encontrados en el capítulo 4, por lo que podemos considerarlos estadísticamente robustos. Se ha observado que hay determinados períodos y regiones para los cuales los rendimientos resultan más sensibles a distintos extremos térmicos. En el siguiente capítulo se realiza una cuantificación del impacto de los extremos térmicos sobre rendimientos de trigo, considerando en particular el período crítico, que es el de mayor influencia sobre el mismo.

# **CAPITULO 6**

**Cuantificación de diferencias de rendimiento bajo condiciones térmicas extremas opuestas**



## **Introducción**

Los capítulos 4 y 5 han mostrado que existe una relación significativa entre el rendimiento de trigo y la frecuencia de extremos térmicos, aunque esta relación no es homogénea para toda la región pampeana. Se observó un efecto negativo más marcado de las temperaturas máximas cálidas en las localidades del oeste, y de las temperaturas mínimas cálidas en las localidades del este, siendo estas características reflejadas conjuntamente en el análisis de la amplitud térmica. En este capítulo se cuantifica (en kg/Ha) los déficits o excedentes del rendimiento en años con temperaturas extremas. En esta instancia el análisis se centra en el período crítico, considerando las distintas décadas involucradas por separado. Para cada índice y década del período crítico, se consideran los años que presentan valores del índice térmico superior al percentil 70, y se calcula el promedio del rendimiento asociado a estos casos por regiones. Posteriormente se estimaron los deciles de los rendimientos de cada región (considerando el período total). En el caso del índice DTR, se analizaron los años con alto y bajo valor del índice (valores superiores al percentil 70 e inferiores al percentil 30 respetivamente).

A partir de estos resultados, se clasifican los rendimientos asociados a cada extremo térmico; los rendimientos catalogados dentro de los 3 primeros deciles fueron considerados como "bajos rendimientos", mientras que los clasificados en los últimos 3, como "altos rendimientos". Se excluyó de esta clasificación a la región CP debido a que los rendimientos no siempre fueron homogéneos para las distintas localidades que conforman la región, es decir, el promedio regional se corresponde a un resultado matemático que no refleja adecuadamente a la región. Las regiones que presentaron mermas significativas, se recuadran en los mapas siguientes con un círculo rojo y las que tuvieron exceso significativo con uno verde.

## **Impacto de los extremos fríos fijos**

### **T0 y T3**

Los rendimientos medios de cada región, que se corresponden con los años con máxima frecuencia de heladas meteorológicas (T0) son mostrados en las figuras 6.1 y 6.2. Como se mencionó anteriormente, el análisis se realizó para cada década del período crítico, siempre que esto fuera posible. Nuevamente se observa una influencia predominantemente negativa sobre los rendimientos, especialmente en las regiones del oeste (OA y SO), y una merma máxima en la región CN2 de 273 kg/ha para heladas meteorológicas en la segunda década de setiembre. Este efecto sobre la región CN2 solo pudo ser captado parcialmente por el análisis de correlación, que arrojó un

valor negativo aunque no significativo. Esto evidencia la importancia de abordar el análisis a partir de distintas metodologías para obtener resultados más robustos.

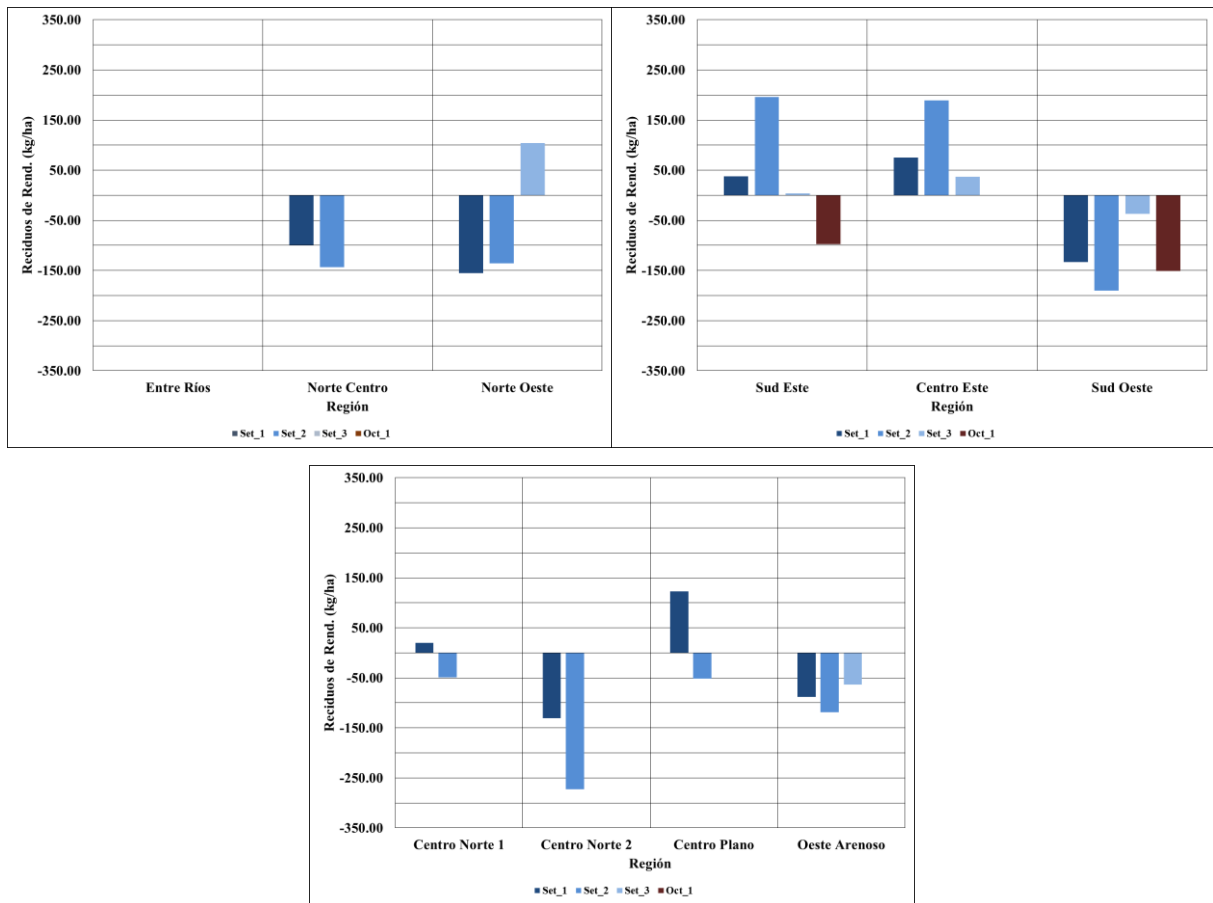


Figura 6.1: Promedio de residuos de rendimientos de años que superan el percentil 70 del índice T0. Regiones Entre Ríos, Norte Centro y Norte Oeste superior izquierda, Sud Este, Centro Este y Sud Oeste superior derecha, Centro Norte1, Centro Norte2, Centro Plano y Oeste Arenoso inferior.

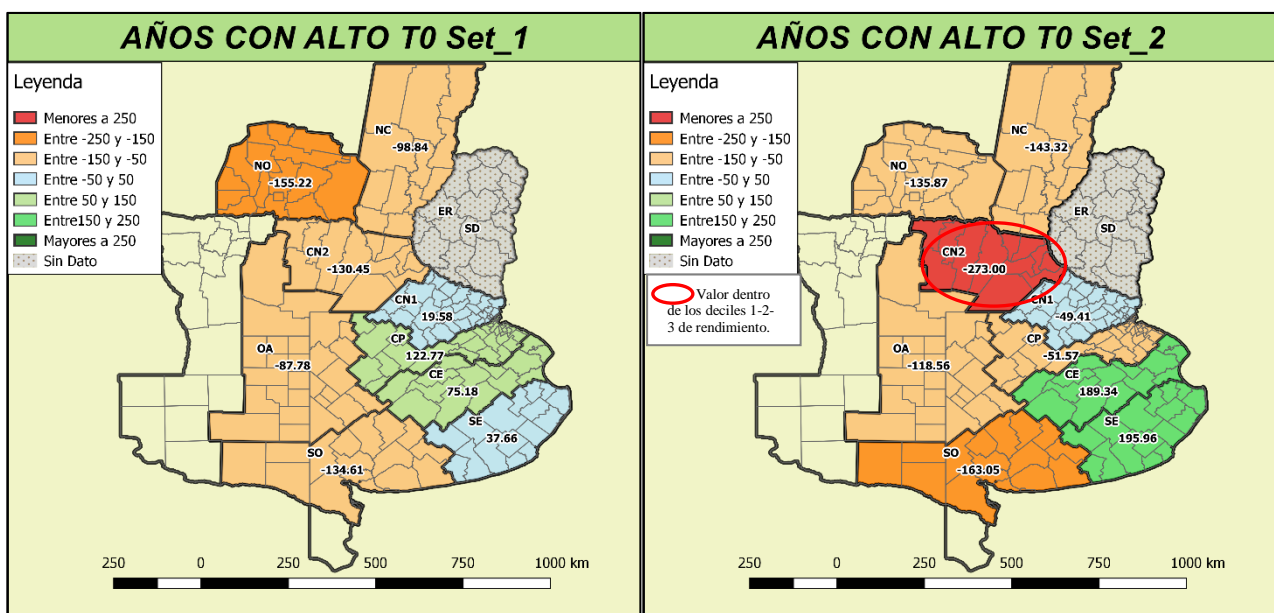
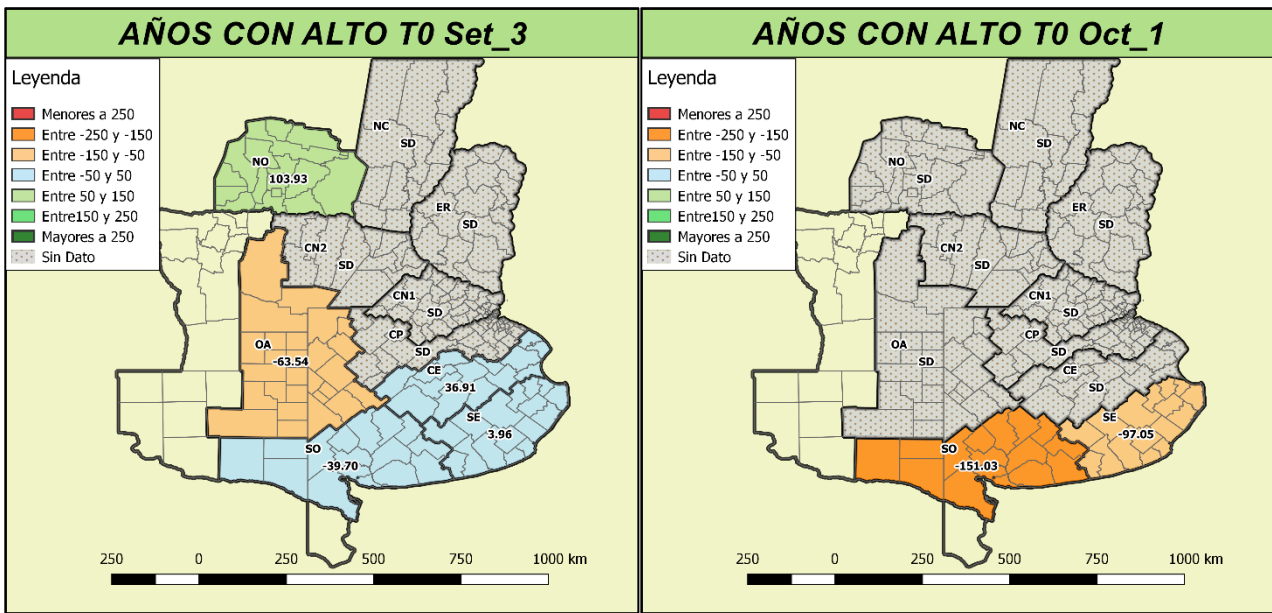


Figura 6.2: Mapas de residuos de rendimiento promedio por zonas (en kg/ha) para los años con T0 superior al percentil 70.

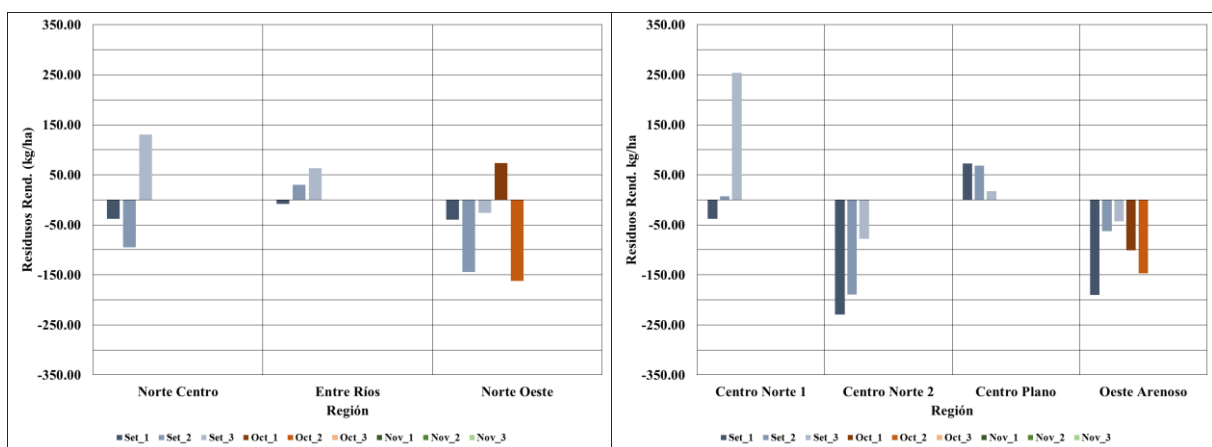


**Figura 6.2 (Continuación): Mapas de residuos de rendimiento promedio por zonas (en kg/ha) para los años con T0 superior al percentil 70.**

De acuerdo a lo manifestado en el capítulo 3, estos índices poseen una baja frecuencia de ocurrencia durante el periodo crítico (setiembre, octubre y noviembre), sobre todo durante los dos últimos meses del mencionado trimestre, por lo que no siempre resulta posible realizar una estadística climatológica. Es por esto que el análisis se presenta en el mes de setiembre y octubre.

El impacto de la frecuencia de heladas sobre los rendimientos de trigo en las zonas ubicadas al este de la región, es en general menor (e incluso inverso) al observado en las zonas ubicadas en el oeste. En esta zona se registraron aumentos que alcanzaron a los 195 kg/ha con altos índices.

El análisis se repitió para el índice T3 (figuras 6.3 y 6.4).



**Figura 6.3: Promedio de residuos de rendimientos de años que superan el percentil 70 del índice T3. Regiones Entre Ríos, Norte Centro y Norte Oeste superior izquierda, Sud Este, Centro Este y Sud Oeste superior derecha, Centro Norte1, Centro Norte2, Centro Plano y Oeste Arenoso inferior.**

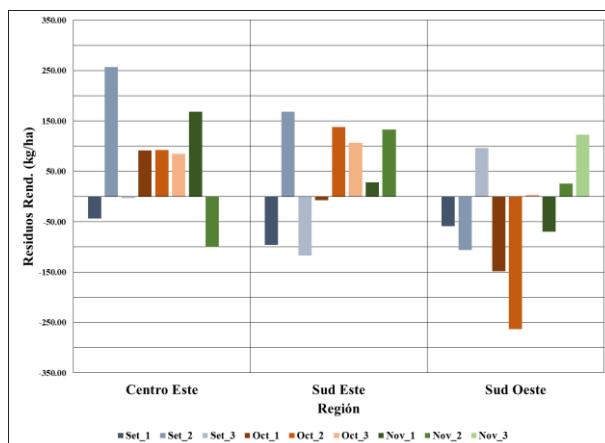


Figura 6.3 (Continuación): Promedio de residuos de rendimientos de años que superan el percentil 70 del índice T3. Regiones Entre Ríos, Norte Centro y Norte Oeste superior izquierda, Sud Este, Centro Este y Sud Oeste superior derecha, Centro Norte1, Centro Norte2, Centro Plano y Oeste Arenoso inferior.

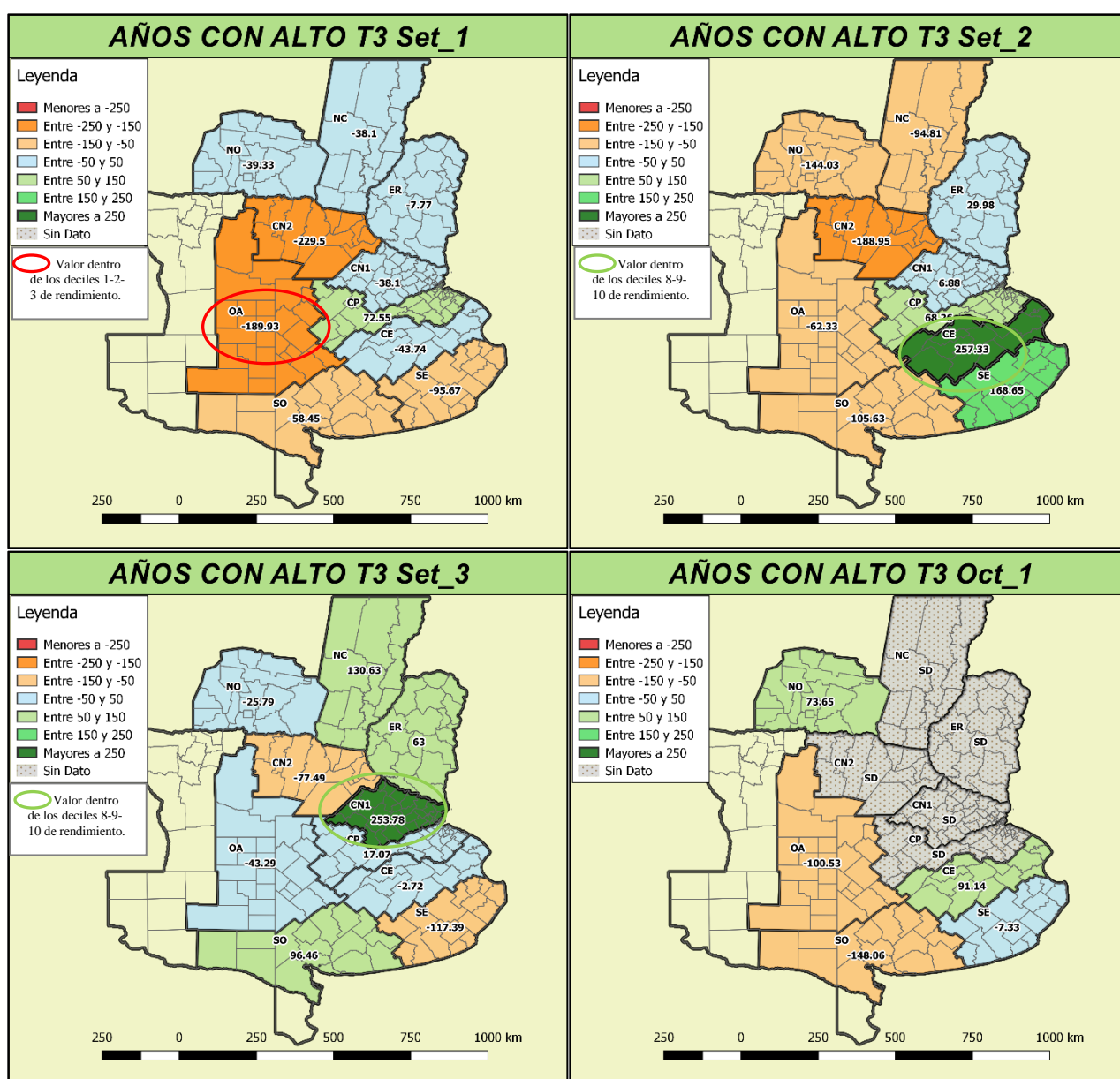


Figura 6.4: Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con T3 superior al percentil 70.

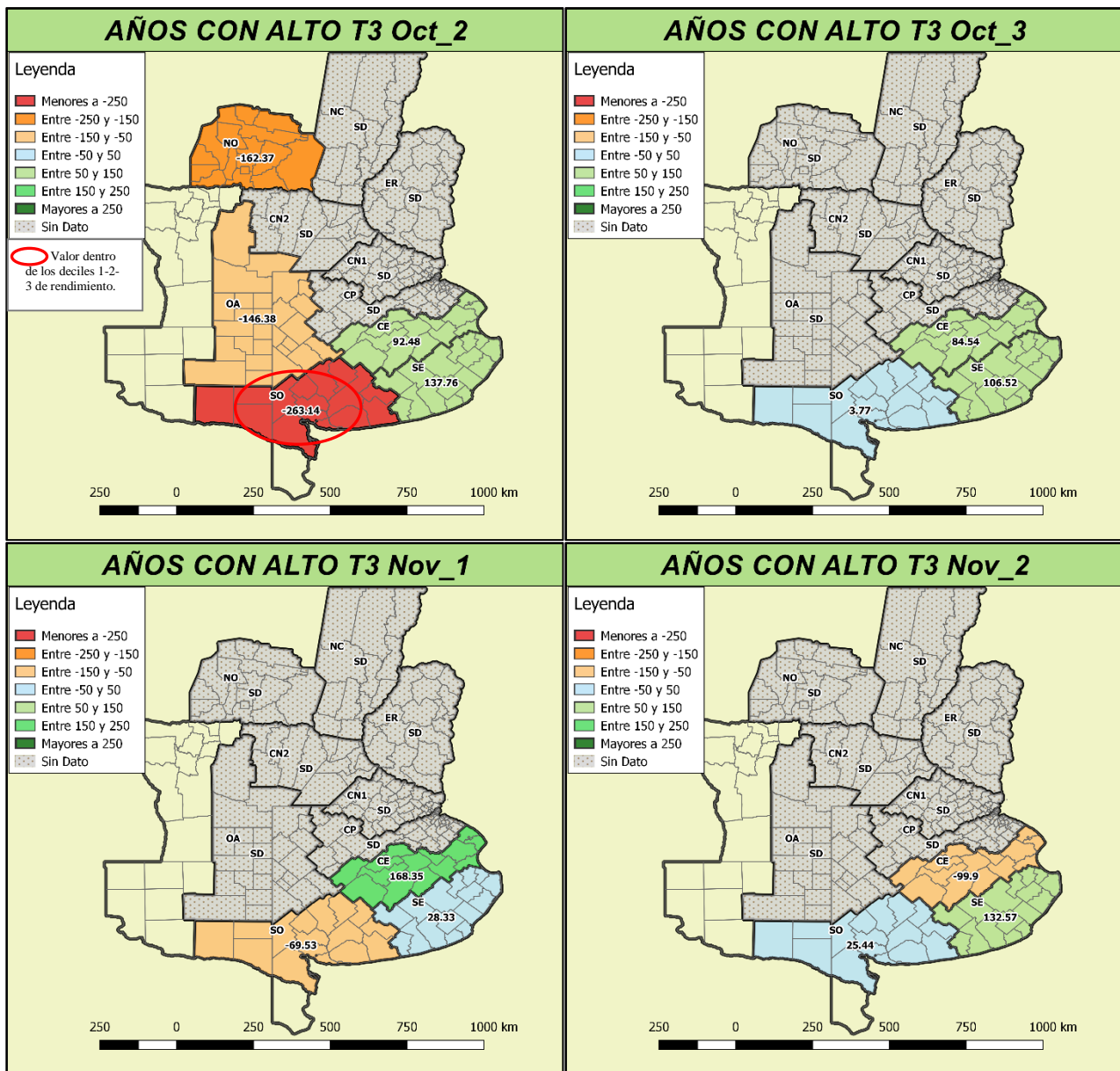


Figura 6.4 (Continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con T3 superior al percentil 70.

Al igual que lo observado para el índice T0, se observan mermas en la región oeste (que llegaron a valores cercanos a los 260 kg/ha en el caso de la región SO y 220 kg/ha en la región CN2) y aumento en los rendimientos en algunas zonas del este.

### Impacto de los extremos cálidos fijos

#### T30

Las figuras 6.5 y 6.6 muestran los resultados encontrados para este índice.



Figura 6.5: Promedio de residuos de rendimientos de años que superan el percentil 70 del índice TX30. Regiones Entre Ríos, Norte Centro y Norte Oeste superior izquierda, Sud Este, Centro Este y Sud Oeste superior derecha, Centro Norte1, Centro Norte2, Centro Plano y Oeste Arenoso inferior.

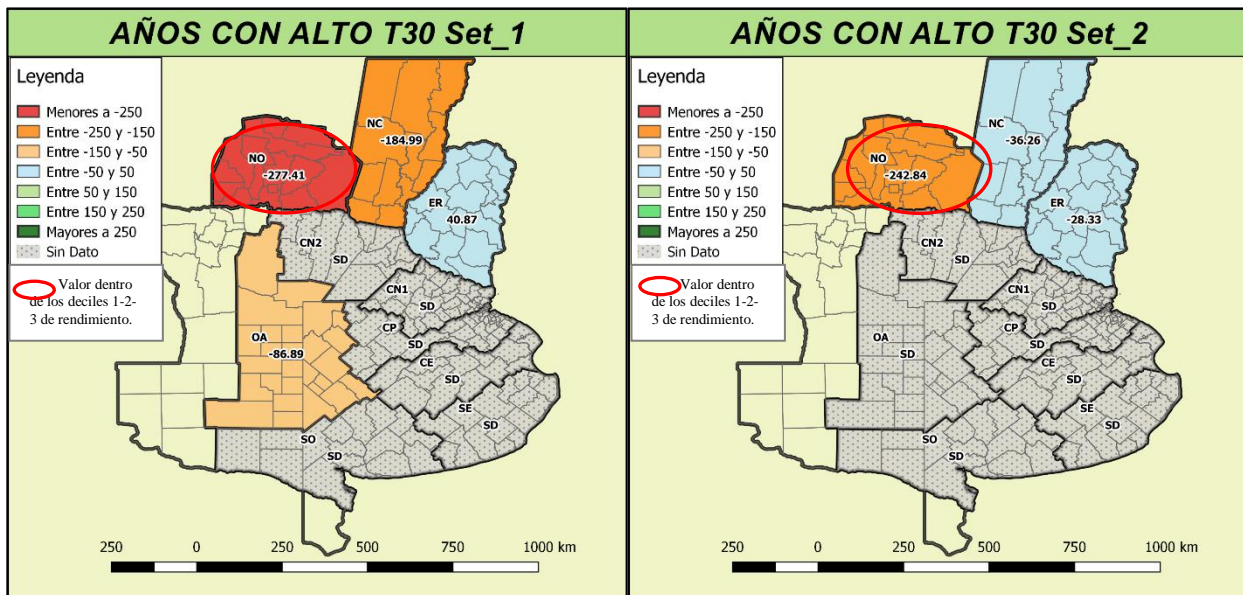


Figura 6.6: Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años por encima del percentil 70 de T30.

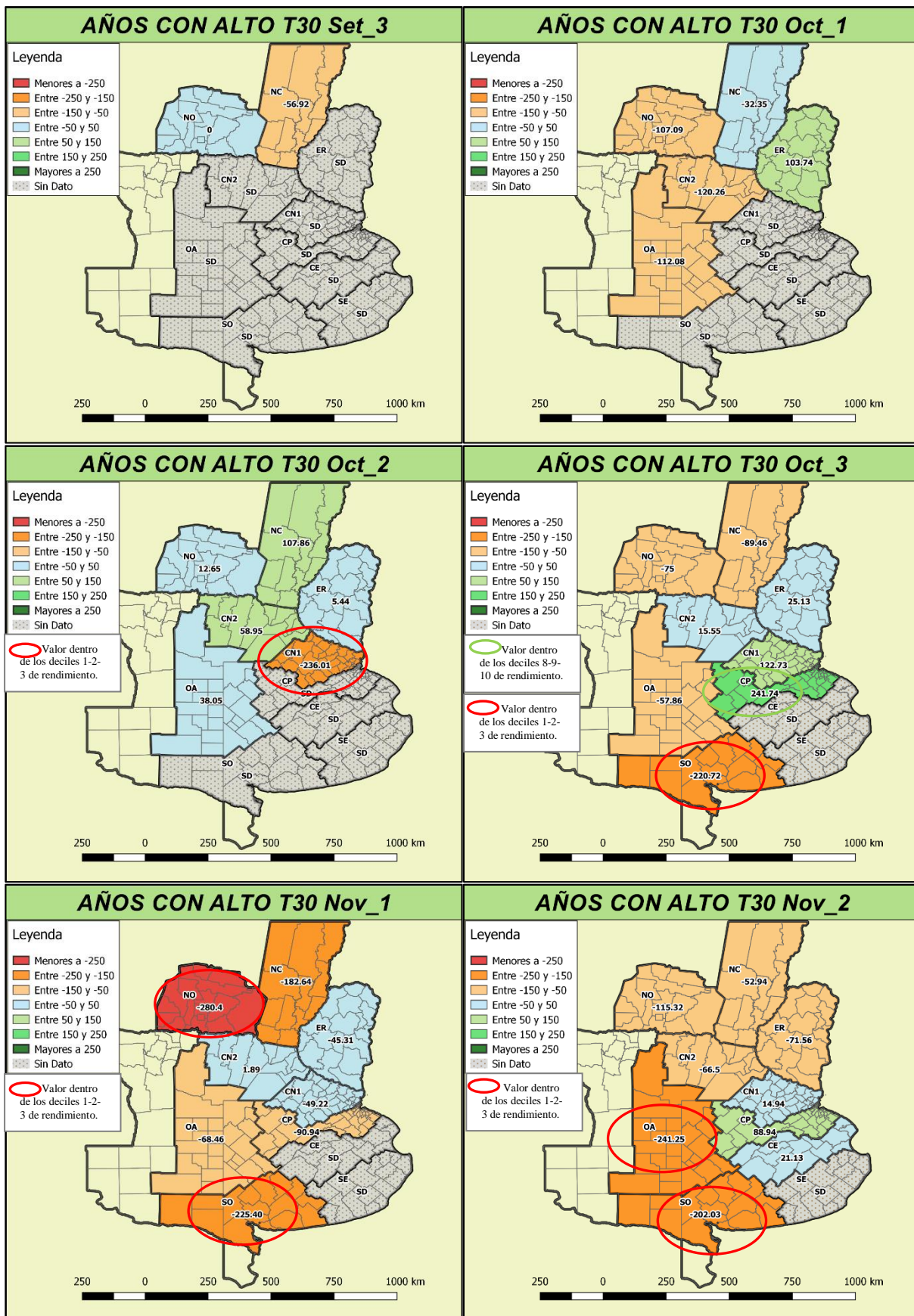
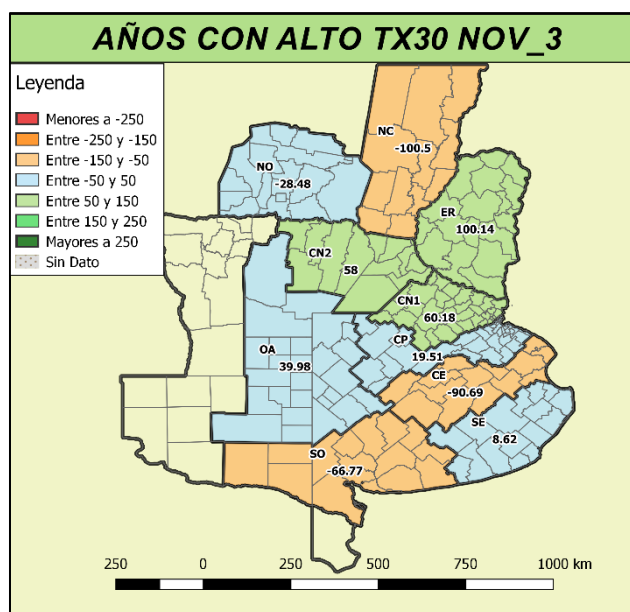


Figura 6.6 (continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años por encima del percentil 70 de T30.



**Figura 6.6 (continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años por encima del percentil 70 de T30.**

Tal como se mostró en el capítulo 4, el índice T30 presenta relaciones negativas con los rendimientos. El análisis que considera los casos extremos del índice y los rendimientos asociados (figuras 6.5 y 6.6), refleja claramente esta relación dominante. Allí se observan las mermas en los rendimientos sobre todo en las zonas **NC** y **SO** (donde se registran la mayor cantidad de casos significativos), y también en **NO**, **CN1**, **OA**.

En todas las regiones mencionadas se contabilizan mermas cercanas o superiores a los 200 kg/ha, y que en algunos casos como **NO**, **OA** y **SO**, han superado los **250 kg/ha.**, en aquellas campañas afectadas por una alta frecuencia de temperaturas máximas superiores a 30°C.

## **Impacto de los extremos basados en percentiles**

### **Temperatura mínima TN10 (noches frías) y TN90 (noches cálidas)**

Las figuras 6.7 y 6.8 presentan los rendimientos asociados con los años con mayor frecuencia de noches frías (panel izquierdo) y con mayor frecuencia de noches cálidas (panel derecho). Al tratarse de un índice basado en percentiles, el cálculo pudo realizarse para todas las décadas del período crítico.



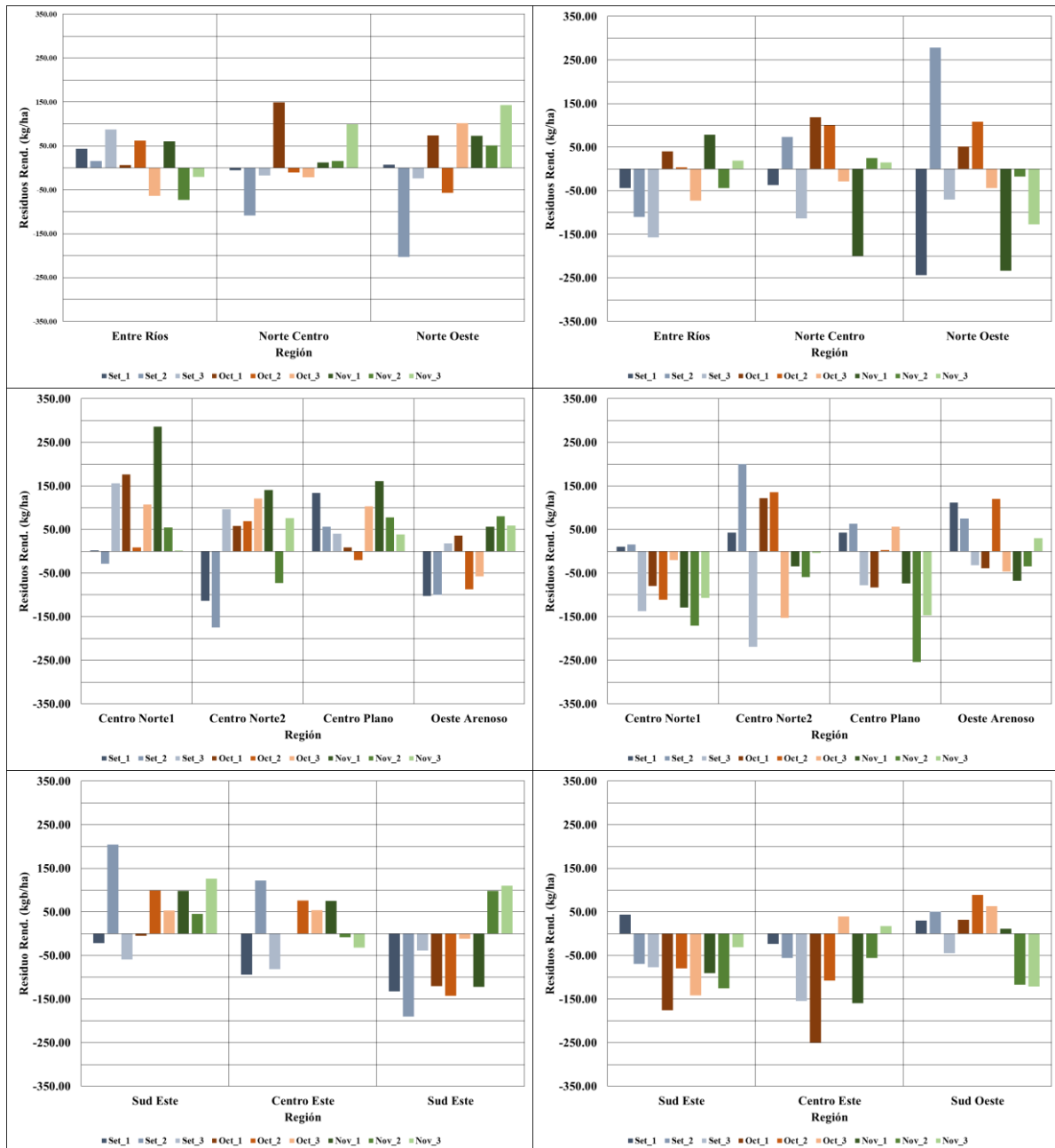


Figura 6.7: Promedio de residuos de rendimientos de años que superan el percentil 70 del índice TN10 (izquierda) y TN90 (derecha), regiones Entre Ríos, Norte Centro y Norte Oeste superior, Centro Norte1, Centro Norte2, Centro Plano y Oeste Arenoso centro, SE, CE y SO inferior.

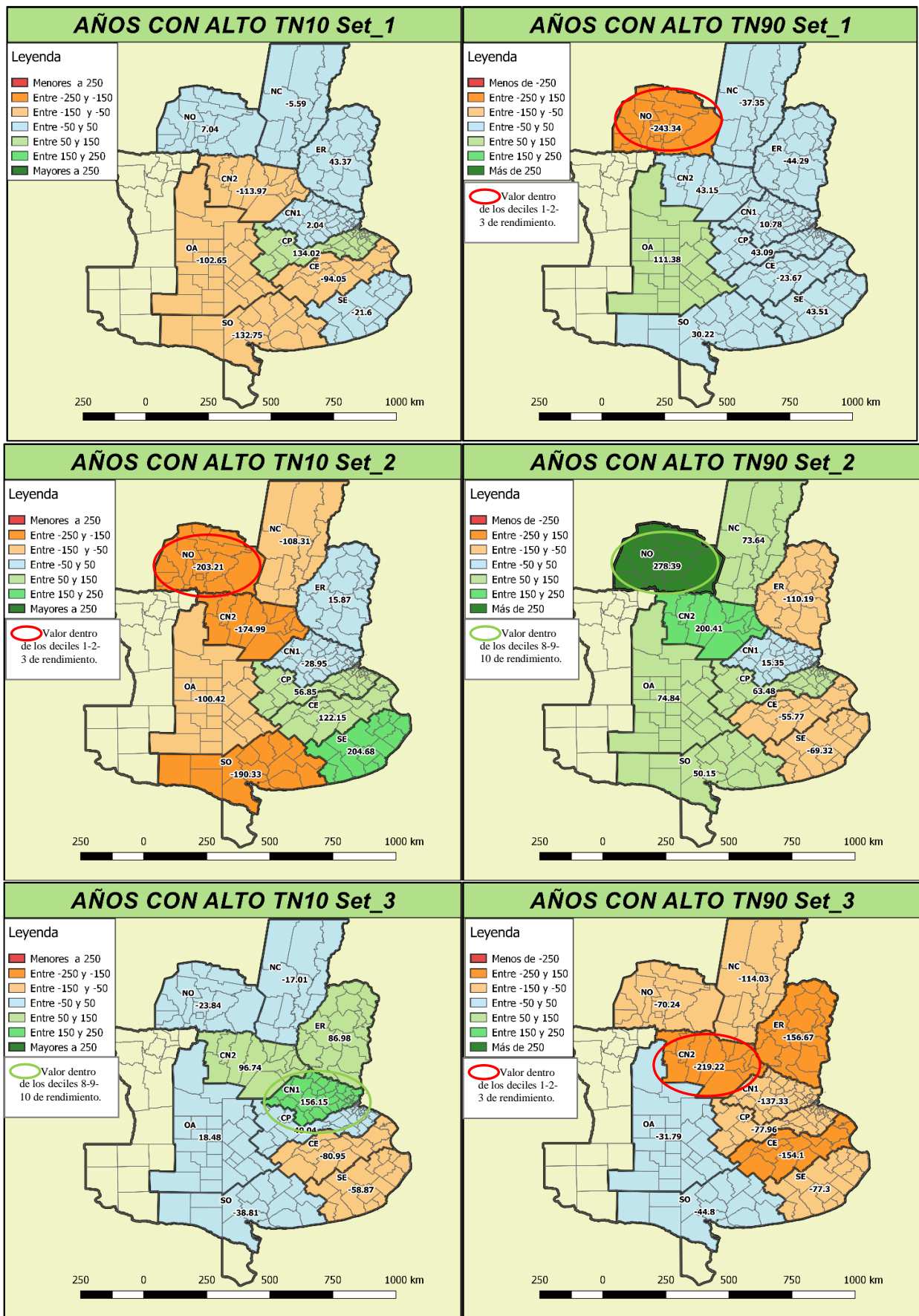


Figura 6.8: Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con índice TN10 y TN90 por encima del percentil 70.

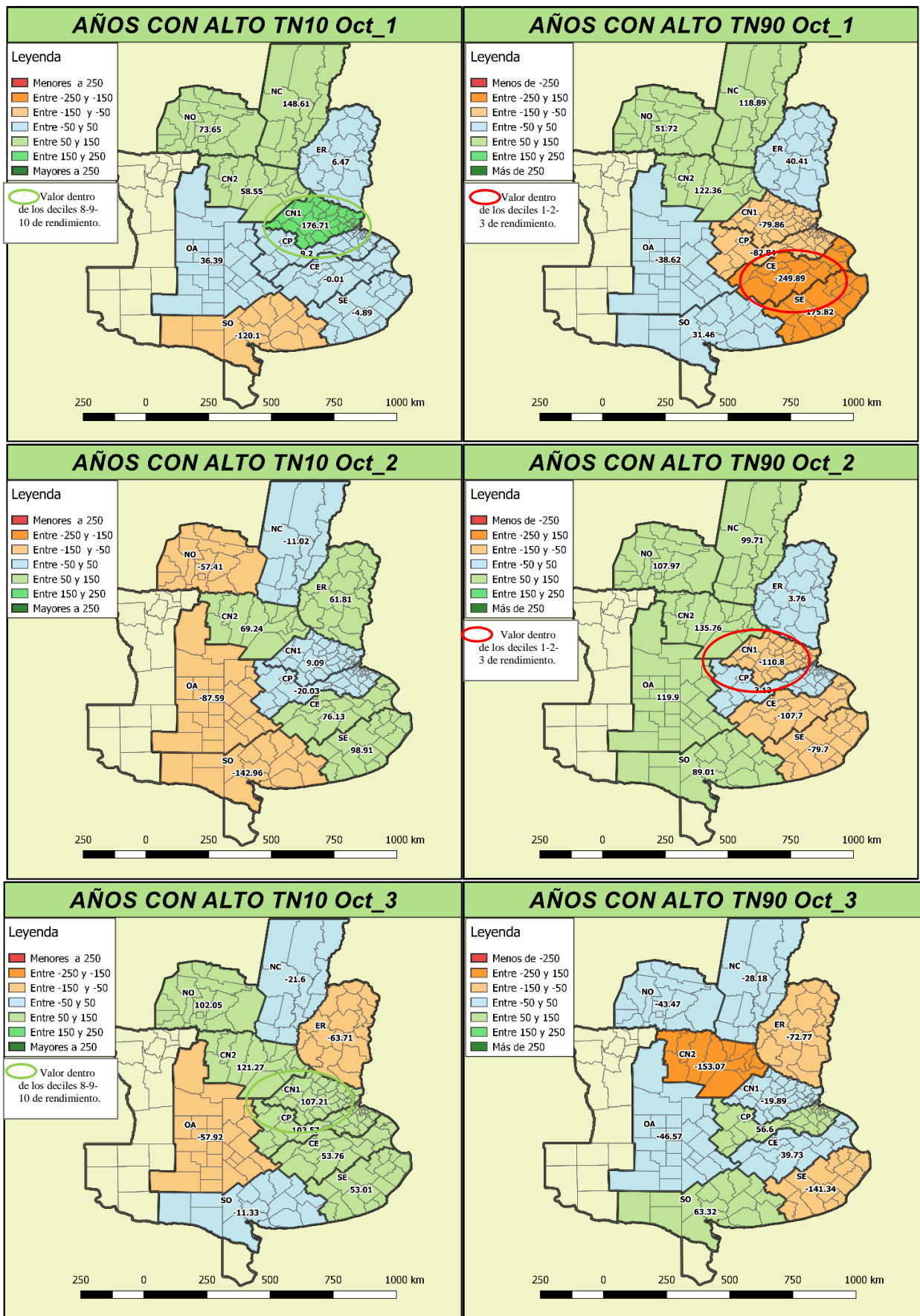


Figura 6.8 (Continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con índice TN10 y TN90 por encima del percentil 70.

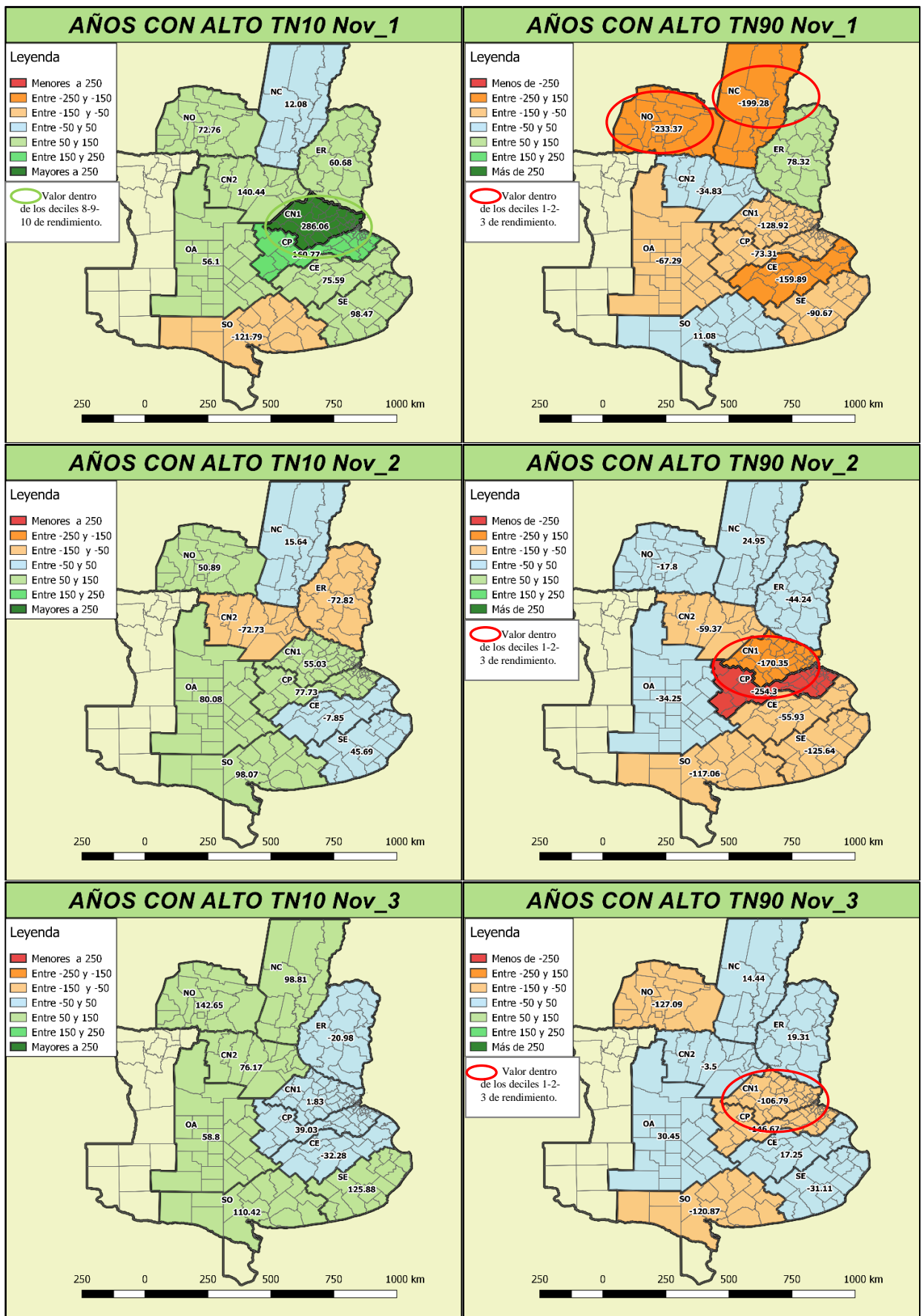


Figura 6.8 (Continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con índice TN10 y TN90 por encima del percentil 70.

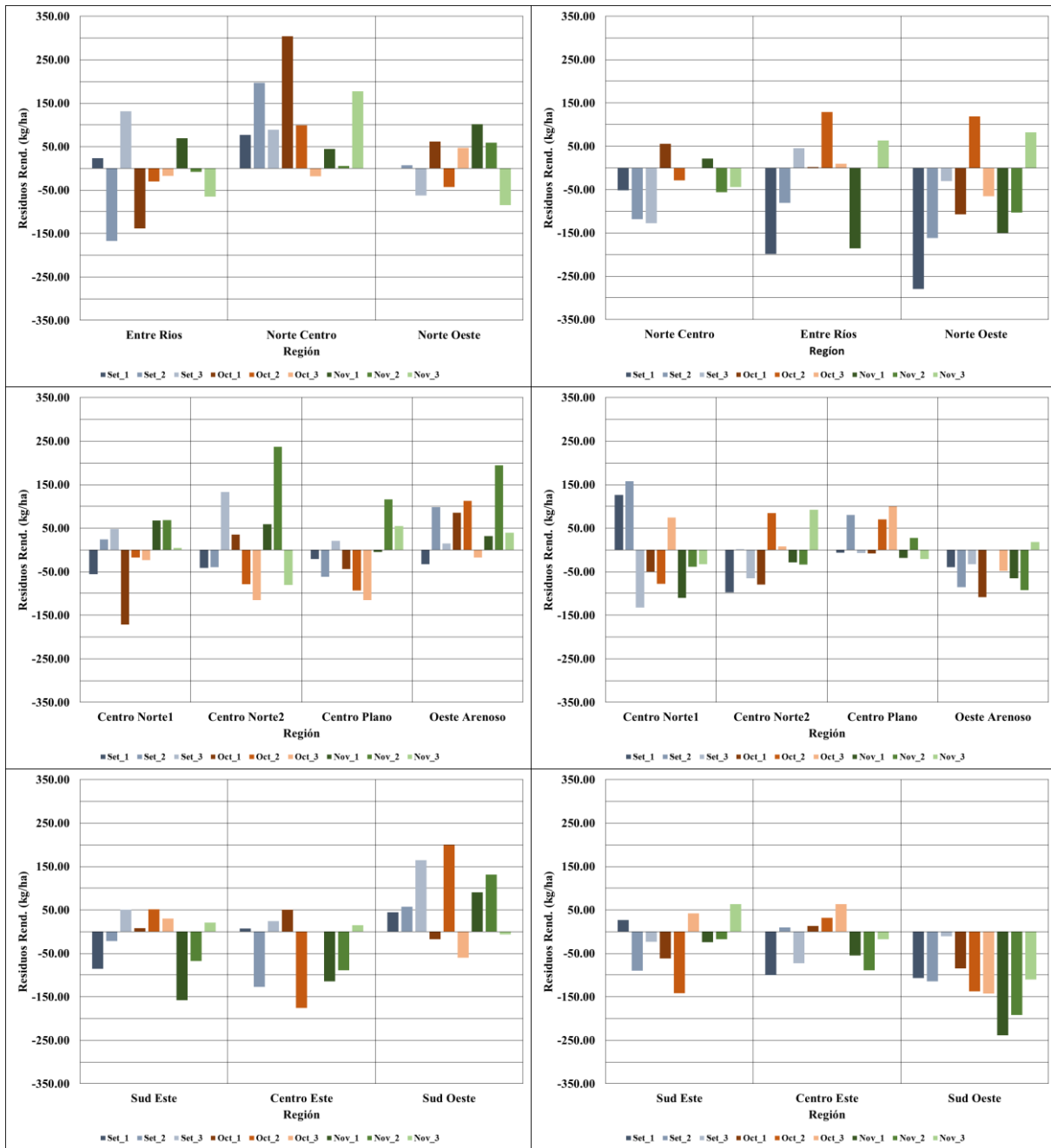
Los años con **alta frecuencia de noches frías** durante las primeras décadas de **setiembre** presentaron **mermas** en el rendimiento en las zonas ubicadas al **oeste**, que en algunos casos llegaron a los 200 kg por hectárea. Para esta misma época la situación resultó inversa en las zonas ubicadas al **este**, donde los rendimientos fueron cercanos a la media esperada, o levemente superiores. Durante **octubre** esta relación se mantiene aunque el impacto observado es en general menor. Por último, el mes de **noviembre**, que en general había presentado relaciones significativas positivas entre TN10 y los rendimientos, muestra **aumentos** en los rendimientos (a excepción de una década en el SO y una en el CN2 y ER), con valores que en muchos casos superaron los 100 kg/ha, y en la región CN1, los 250 kg/ha en la primera década de dicho mes. En definitiva, una alta frecuencia de noches frías durante noviembre, redonda en un beneficio para los rendimientos.

Los años con **alta frecuencia de noches cálidas** durante las primeras décadas de **setiembre** presentaron **resultados disimiles**. A partir de la segunda década, se destaca un impacto negativo sobre los rendimientos en las **regiones del este**, que se extiende a un mayor número de regiones en la década siguiente. Durante el mes de **octubre** se sigue observando el **impacto negativo** en los rendimientos en las estaciones del **este**, mientras que las del **oeste no parecen ser perjudicadas** por las altas temperaturas mínimas. En estas regiones, son las bajas temperaturas mínimas las que tendrían un efecto negativo, con una mayor amplitud térmica asociada, tal como se discutió en los capítulos anteriores. En el **mes de noviembre** también se observan **mermas** de rendimientos asociados a la mayor frecuencia de noches cálidas, especialmente durante la primera década.

A pesar de que la influencia de los extremos cálidos de temperatura mínima durante la época crítica no se refleja tan claramente en los promedios de los rendimientos regionales, se destaca que las señales más fuertes corresponden a mermas en los rendimientos en casi la totalidad de los casos.

### **Temperatura máxima TX10 (días fríos) y TX90 (días cálidos)**

La figura 6.9 muestra los rendimientos asociados con los años con alta frecuencia de temperatura máxima fría (panel izquierdo) y alta frecuencia de temperatura máxima cálida (panel derecho) en cada década. Puede observarse que los rendimientos asociados con los extremos de TX90 son predominantemente negativos, mientras que los de TX10 presentan mayor variabilidad.



**Figura 6.9: Promedio de residuos de rendimientos de años que superan el percentil 70 del índice TX10 (izquierda) y TX90 (derecha), regiones Entre Ríos, Norte Centro y Norte Oeste superior, Centro Norte1, Centro Norte2, Centro Plano y Oeste Arenoso centro, Sud Este, Centro Este y Sud Oeste inferior.**

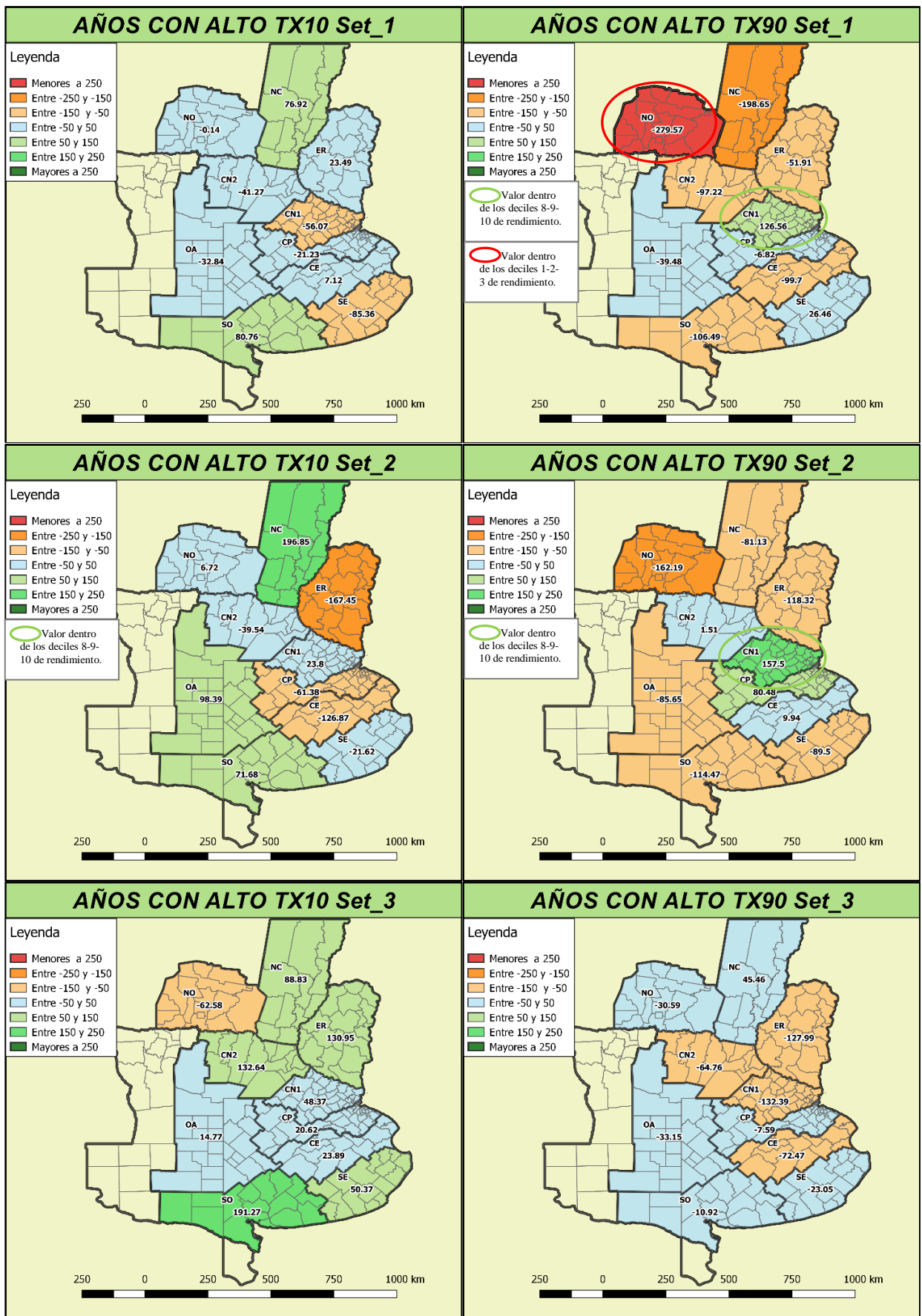


Figura 6.10: Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con índice TX10 y TX90 por encima del percentil 70.

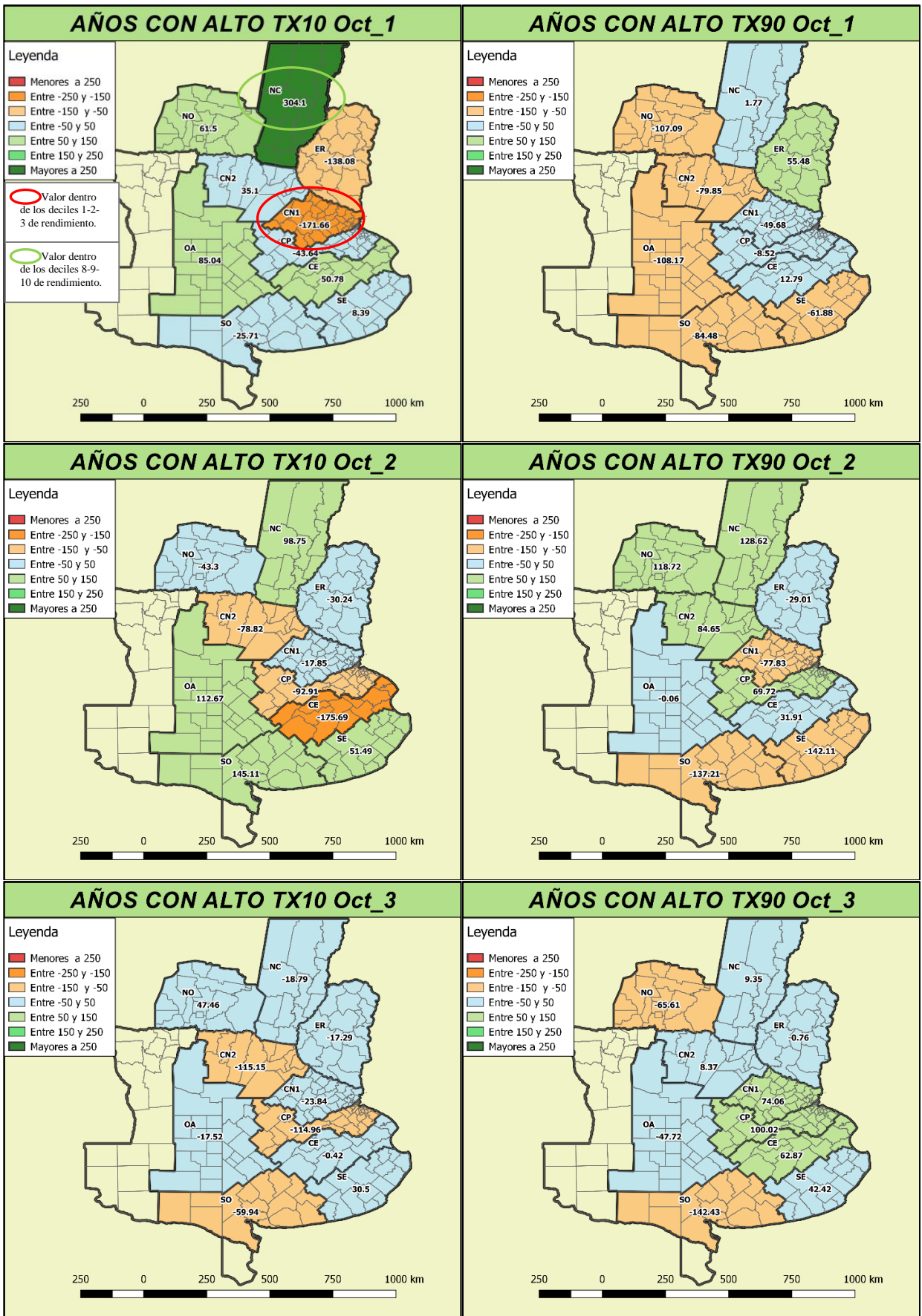


Figura 6.10 (Continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con índice TX10 y TX90 por encima del percentil 70.



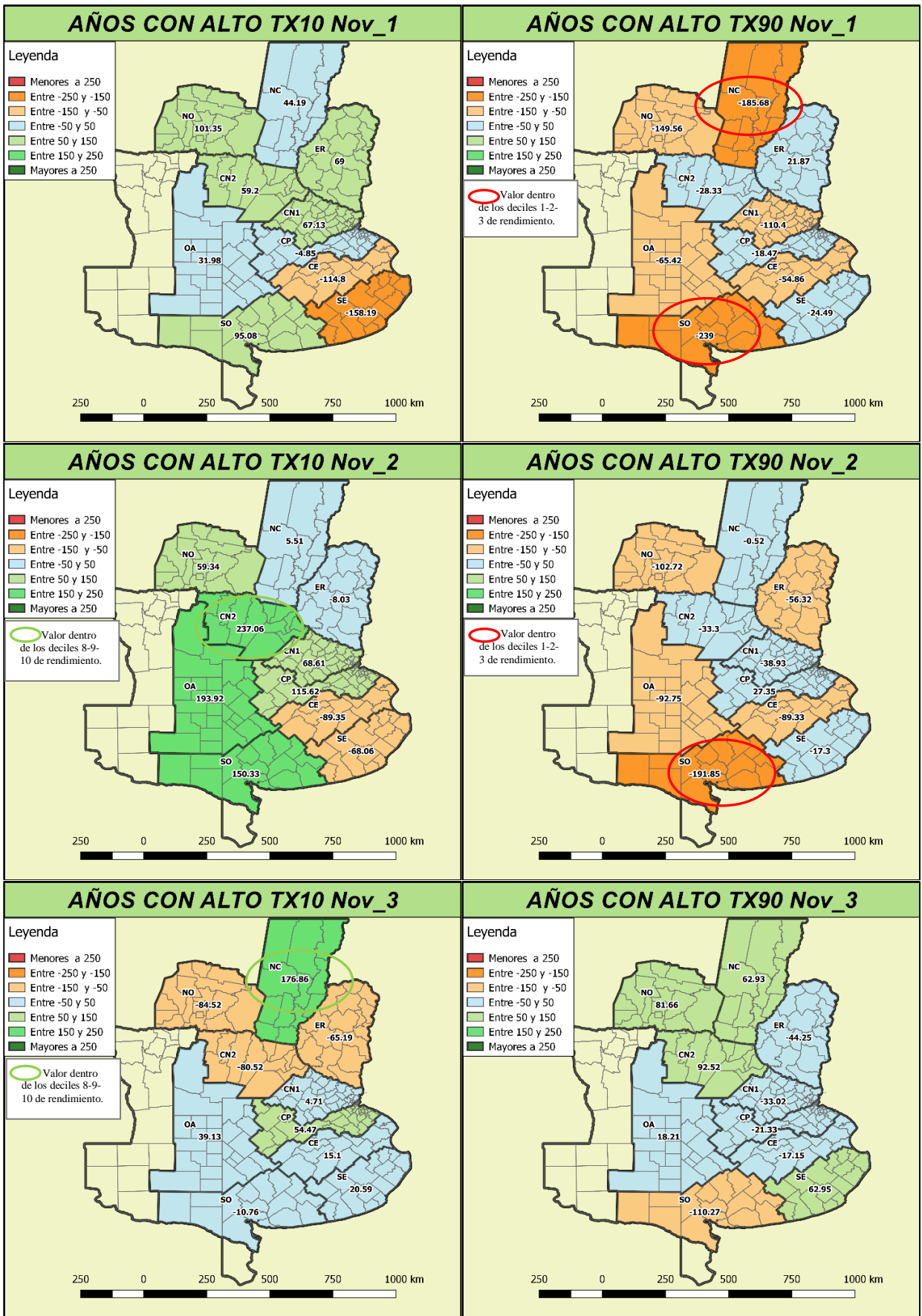


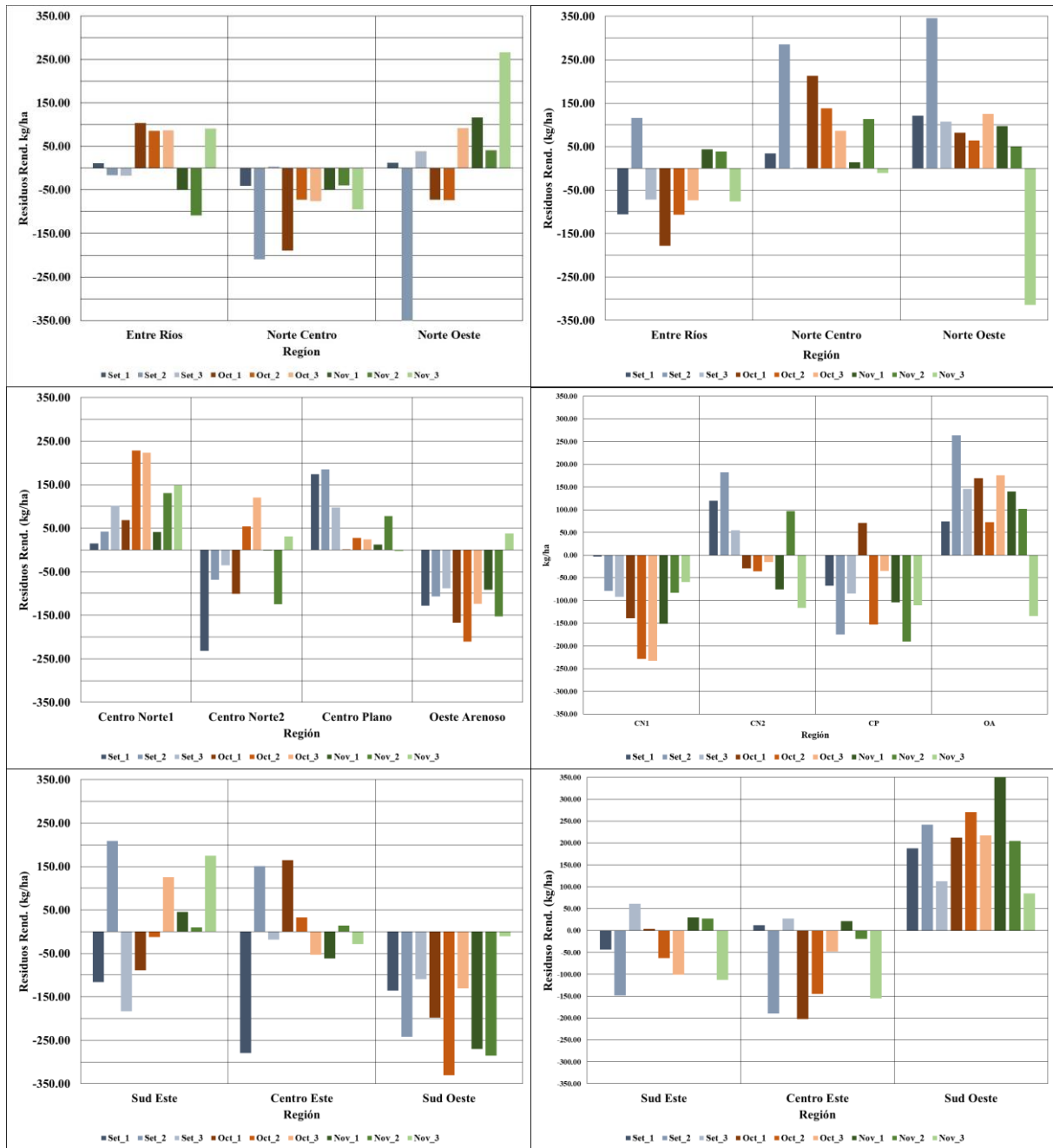
Figura 6.10 (Continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con índice TX10 y TX90 por encima del percentil 70.

En el capítulo 4 se mostró cómo el índice **TX10** presenta en general relaciones significativas positivas con los rendimientos (a medida que aumenta el porcentaje de días con temperaturas máximas inferiores al percentil 10, aumentan los rendimientos). Durante la época crítica, estas relaciones positivas se dan mayormente en las zonas ubicadas al **oeste**, esto es NC, OA y SO. Estas zonas han presentado en general, **aumentos** en los rendimientos que en algunos casos superan los 300 kg/ha. (región NC, cuando dichos extremos tenían lugar en la primera década de octubre), y 150 kg/ha (cuando los extremos ocurrían en la segunda década de noviembre, en las regiones OA y SO). Las otras regiones no presentan un patrón definido, pudiéndose encontrar rendimientos superiores e inferiores a la media, en campañas afectadas con altos índices de TX10.

En lo que respecta al índice **TX90**, se encontró que las relaciones con los rendimientos son inversas. De esta forma, a medida que aumenta el porcentaje de días con temperatura máxima superior al percentil 90, disminuyen los rendimientos. Tal como se vio en el capítulo 4, estas relaciones significativas negativas, tienen lugar mayormente en las zonas **NO, OA y SO**. En el análisis que aquí se presenta se observa que las campañas afectadas por una alta frecuencia de días cálidos durante la primera década de **septiembre**, tuvieron una merma en el rendimiento promedio superior a los 250 kg/ha en la región NO, y algo menores en casi la totalidad de las regiones restantes. En general, el mayor impacto del índice TX90, se observa sobre las regiones del oeste, especialmente en la región SO, considerando que los rendimientos han resultado inferiores al promedio en campañas afectadas por una alta frecuencia de días cálidos en cualquier momento de la época crítica. En términos generales, **el impacto negativo de este índice (TX90) es mayor al impacto positivo de TX10.**

### **Impacto de la Amplitud Térmica DTR**

Posteriormente se evalúa el impacto de la amplitud térmica sobre los rendimientos, considerando los años de menor valor (figuras 6.11 y 6.12 panel derecho) y mayor valor (figuras 6.11 y 6.12 panel izquierdo).



**Figura 6.11: Promedio de residuos de rendimientos de años que superan el percentil 70 del índice DTR (izquierda) y por debajo del percentil 30 del índice DTR (derecha), regiones Entre Ríos, Norte Centro y Norte Oeste superior, Centro Norte1, Centro Norte2, Centro Plano y Oeste Arenoso centro, Sud Este, Centro Este y Sud Oeste inferior.**

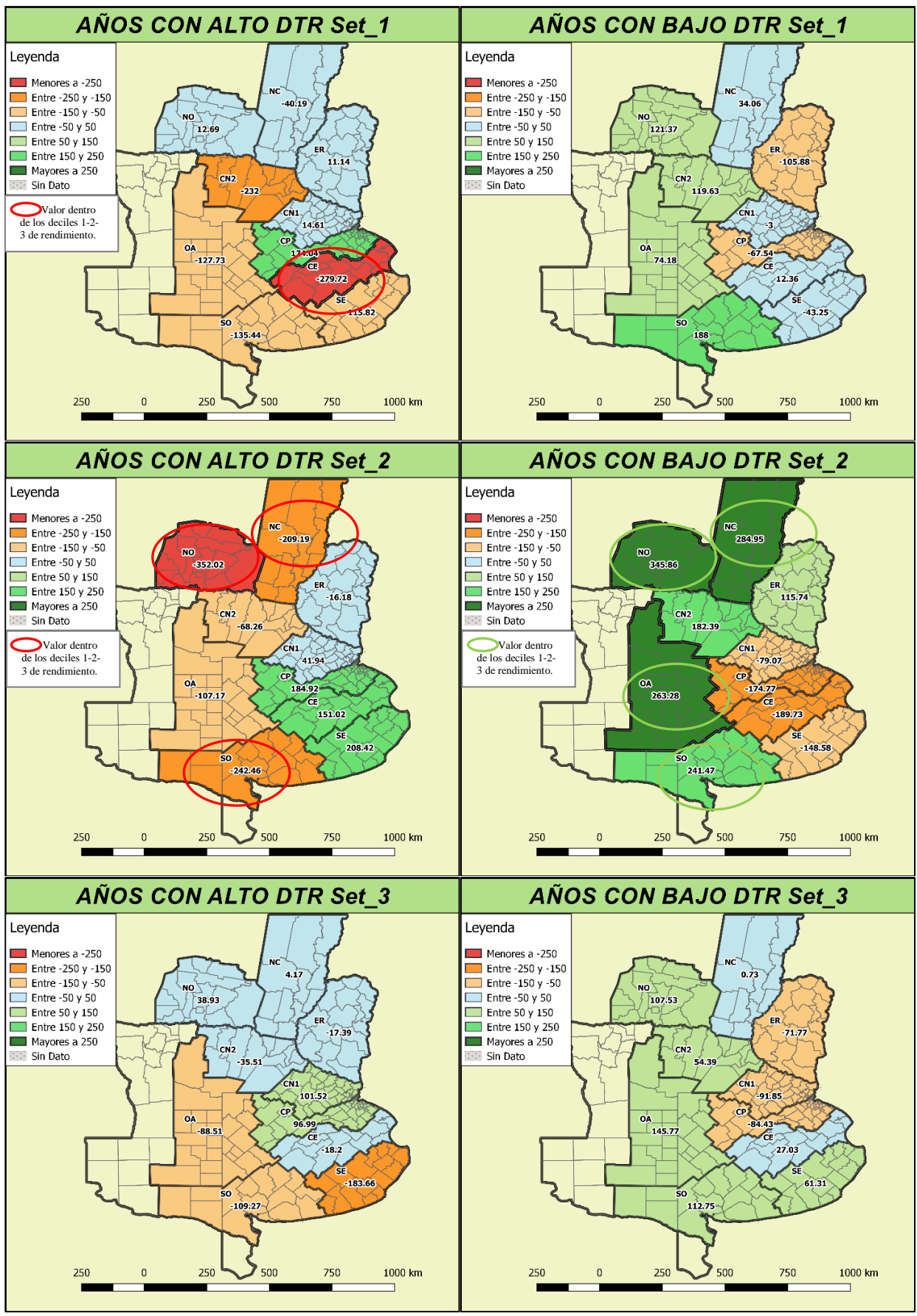


Figura 6.12: Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con DTR por encima del percentil 70 (panel izquierdo) y por debajo del percentil 30 (panel derecho).

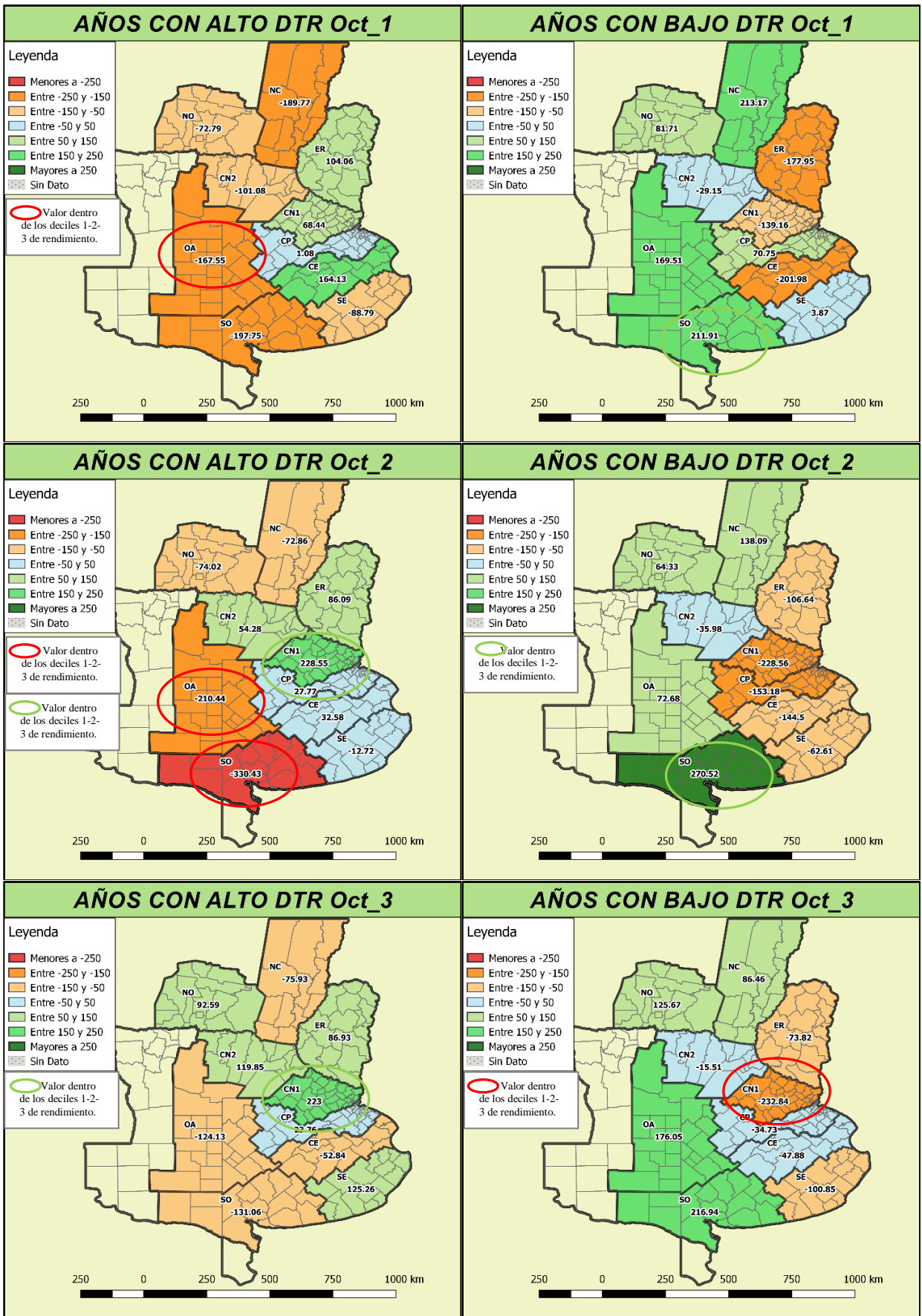


Figura 6.12 (continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con DTR por encima del percentil 70 (panel izquierdo) y por debajo del percentil 30 (panel derecho).

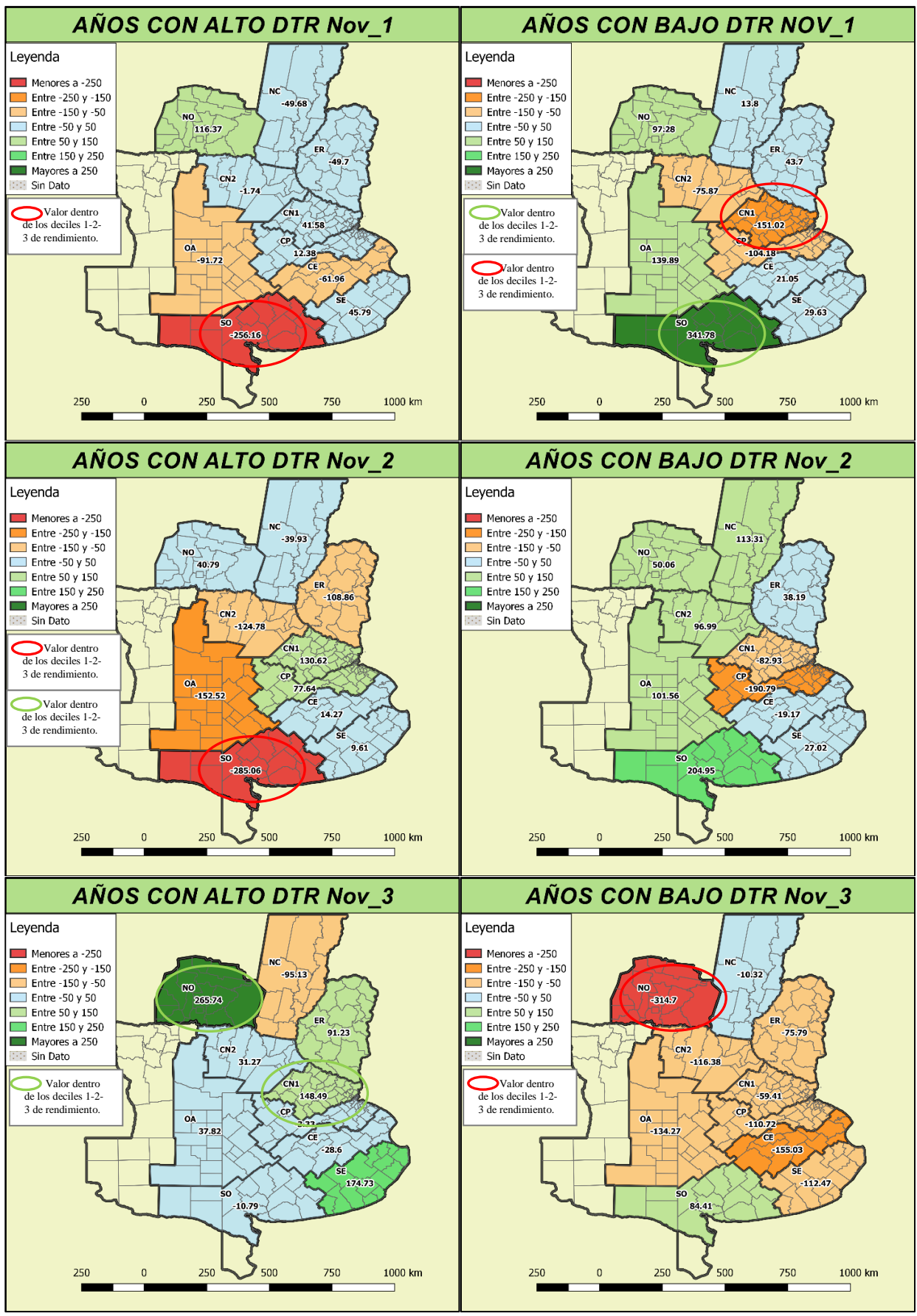


Figura 6.12 (continuación): Mapas de residuos de rendimiento en kg/ha promedio por zonas, para los años con DTR por encima del percentil 70 (panel izquierdo) y por debajo del percentil 30 (panel derecho).

En los años con altos valores de amplitud térmica, las zonas ubicadas al **oeste** presentan una **merma de los rendimientos**. Estas mermas llegaron a **superar los 350 kg/ha** en el NO cuando se registraron altos valores de DTR en la segunda década de setiembre. Por otro lado, es de destacar que **la zonas SO y OA también presentaron mermas en los rendimientos cuando se registraron altos valores de DTR en las décadas comprendidas entre setiembre y la segunda década de noviembre**. Por su parte las regiones ubicadas al este, no presentan un patrón claro.

# **CAPITULO 7**

## **CONCLUSIONES**



## Síntesis y conclusiones

En el presente trabajo se propuso realizar un estudio exhaustivo a escala climática de la influencia de los extremos de temperatura en los rendimientos de trigo ocurridos en los últimos 30 años, en diferentes sitios de la Región Pampeana ampliada. Para ello se tomaron distintos índices térmicos derivados de datos diarios de temperatura máxima y mínima de 28 localidades de la región y datos fenométricos de rendimientos de trigo, para las campañas agrícolas 1980-81 al 2009-2010.

El presente trabajo de tesis perseguía los siguientes objetivos específicos:

- Generar una climatología de distintos índices de temperaturas extremas de la Pampa Húmeda ampliada a escala decádica (10 días).
- Definir cuáles de estos extremos climáticos de temperatura pueden actuar como variables determinantes de los rendimientos de trigo en las diferentes localidades de la Región Pampeana Ampliada.
- Identificar décadas de mayor asociación entre los índices de temperatura y los rendimientos, analizando a su vez, diferencias espaciales.
- Generar mapas que resuman estos resultados.
- Cuantificar el efecto de los eventos climáticos extremos de temperatura en los rendimientos de trigo de la Región Pampeana ampliada.

Los índices de extremos de temperatura considerados en esta tesis tuvieron en cuenta, para su definición, la frecuencia de días en los que la temperatura máxima (TX) o mínima (TN) fuese superior o inferior a cierto umbral. Se analizaron umbrales fijos (tales como los asociados a heladas meteorológicas o agrometeorológicas) y umbrales basados en percentiles (10 y 90) de manera de tomar aquellos casos extremos de acuerdo a la climatología de cada lugar. También se consideró un índice relacionado con la temperatura máxima y mínima: la amplitud térmica (DTR).

Durante el período considerado (1980-2009) se han registrado temperaturas que pueden causar daño en el cultivo de trigo (tablas 2.3, 2.4, capítulo 2) aunque la frecuencia de ocurrencia de estos valores extremos, para algunas regiones, fue baja. Esto implica que el análisis de la influencia de las mismas considerando umbrales fijos (como temperatura mínima inferior a 0°C o temperatura máxima superior a 30°C) no siempre pudo realizarse. Los índices basados en percentiles no se vieron afectados por esta limitación y permitieron extender y enriquecer el análisis al poder evaluarse sobre todo el ciclo del cultivo.

El análisis de la **asociación entre los índices de temperatura y los rendimientos**, ha sido realizado a través de distintas técnicas estadísticas, que involucran cálculos de correlaciones y tests no paramétricos. Se encontró que algunos índices térmicos influyen en forma homogénea en toda la región en alguna o todas las etapas del ciclo, otros mostraron una influencia dependiente de la etapa fenológica en la que se hallara el cultivo, mientras que los restantes evidencian una influencia dependiente de la zona considerada, siendo distinto el impacto en las localidades del oeste (las ubicadas en las regiones NO, OA y SO) respecto de las del este (las ubicadas en las regiones ER, CN1, CP, CE y SE).

Para aquellos índices relacionados con temperaturas mínimas bajas fijas T0 y T3, se encontraron influencias negativas y/o positivas según la década analizada, diferenciándose 3 épocas bien marcadas:

La inicial, que agrupó las primeras décadas del periodo analizado, con relaciones negativas (al producirse mayor porcentaje de días con este índice, menor era el rendimiento encontrado), que se asocia a una mayor susceptibilidad del trigo al encontrarse en estado de germinación y emergencia. Una segunda época que coincide con las etapas de premacollaje y macollaje donde las bajas temperaturas no presentan relaciones negativas. Una última etapa con relaciones negativas, que podrían estar asociadas a una baja en la resistencia a estas temperaturas extremas en etapas fenológicas cercanas a la floración y llenado de grano.

El índice TN10 (frecuencia de noches frías) mostró ciertas similitudes con lo visto con los índices de umbrales fijos, con la diferencia que las estaciones del sur continúan evidenciado relaciones negativas con los rendimientos, mientras las ubicadas más al norte presentan relaciones positivas, a partir de la segunda década se setiembre. La influencia de las temperaturas máximas bajas (TX10) es positiva, lo que podría estar asociado a una mayor captura de recursos al ampliarse las distintas etapas fenológicas, sobre todo cuando las mismas se producen en las etapas reproductivas (espigazón a llenado de grano).

Los índices relacionados con temperaturas máximas altas, tanto los que consideran umbrales fijos (T30) como los basados en percentiles (TX90), y el índice vinculado con las temperaturas mínimas altas (TN90) mostraron una relación negativa. En el caso de los extremos de máximas cálidas, el efecto es mayor en las estaciones del oeste, mientras que los mayores impactos con las mínimas cálidas se observan principalmente sobre las estaciones del este. Esta particularidad termina reflejándose en el efecto de la amplitud térmica, que en términos generales evidencia una influencia

positiva en las localidades del este y noreste y negativas en las del oeste. Debe destacarse que la amplitud térmica fue el índice con mayor cantidad de correlaciones significativas.

En general los índices basados en percentiles aportaron más información sobre la influencia de la temperatura en los rendimientos de trigo en el periodo analizado. Esto es así ya que captan los impactos, no solo en el rango de las temperaturas críticas (altas o bajas), sino también dentro del rango de temperaturas moderadamente altas.

En cuanto a las **diferencias espaciales**, el análisis del efecto de las temperaturas extremas sobre los rendimientos de trigo de la Región Pampeana ampliada presenta claras diferencias entre aquellas zonas ubicadas al oeste de la región de aquellas ubicadas al este de la misma.

Dichas diferencias se visualizan particularmente en los extremos cálidos, que afectan especialmente a las estaciones ubicadas al oeste. Esto estaría acorde a lo expresado en el capítulo 2, en el que se muestra que el percentil 90 de temperatura máxima (TXP90) es mayor para un mismo periodo y similar latitud en las estaciones ubicadas al oeste de la región y al hecho de que en estas zonas, sobre todo en el sudoeste bonaerense, puede haber un efecto combinado de temperatura y déficit hídrico teniendo en cuenta que, climáticamente, las precipitaciones disminuyen de este a oeste y de norte a sur. Estas condiciones se evidencian con el índice de amplitud térmica (DTR), que aumenta de este a oeste, a la vez que resulta más variable.

El caso de las noches cálidas (temperaturas mínimas cálidas TN90) merece un particular análisis. Estudios previos mostraron la influencia negativa de las altas temperaturas nocturnas sobre el rendimiento. En el análisis climático regional que aquí se presenta se observa que las mismas afectan mayormente a los rendimientos en las estaciones ubicadas al este de la región analizada, que son las que tienen, climáticamente, una mayor disponibilidad hídrica.

La **cuantificación de la asociación entre los índices de temperaturas extremas y los rendimientos** durante el período crítico evidencia que:

- El índice T0 y T3 presenta, en general, disminuciones en los rendimientos en las zonas OA y SO.
- El índice TN10 si bien posee características similares a los anteriores, las últimas décadas del periodo en todas las regiones han presentado aumentos en los rendimientos.
- El índice TN90 presenta en general mermas en los rendimientos siendo mayores en las regiones CE CP y SE.

- El índice T30 muestra en general disminución en los rendimientos sobre todo en el OA, SO, NC y NO.
- El índice TX10 presenta aumentos en los rendimientos en las regiones OA SO y NC, el resto de las regiones sin un patrón definido.
- El índice TX90 exhibe en los mismos casos que TX10, mermas importantes en los rendimientos (excepción de algunas décadas en NC).
- La amplitud térmica presentó una mayor influencia sobre las regiones ubicadas al oeste destacándose el SO y OA, donde se observan importantes mermas en los rendimientos bajo condiciones de alta amplitud térmica, y altos rendimientos con condición opuesta.

En términos generales, TX90, tuvo un gran impacto sobre los rendimientos, con una influencia negativa. La mayor cantidad de relaciones significativas se dan en las regiones ubicadas al oeste (OA y SO) y Noroeste (NC y NO) donde existiría un efecto combinado de temperatura y déficit hídrico (Calviño 2002).

Por último el índice DTR fue el que mayor cantidad de relaciones significativas presentó. Este índice tuvo relaciones diferentes en dos zonas bien definidas: el sudoeste y noreste (zonas SO, OA, CN2, NO y NC), con relaciones inversas con el rendimiento, y la zona norte de Buenos Aires y este de Entre Ríos (zonas CP, CN1 y este de Entre Ríos), que mostró relaciones directas. Con lo que se puede concluir que el DTR, al involucrar información de  $t_{max}$ ,  $t_{min}$  e, indirectamente, humedad, es un índice altamente correlacionado con los rendimientos de trigo. El efecto de este índice no es universal, puede ser positivo o negativo a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Para el caso de la pampa húmeda, se evidencia que las localidades del oeste (climáticamente más secas) son más sensibles al aumento de DTR por  $t_{max}$  elevadas, mientras que las localidades del este (climáticamente más húmedas) son más sensibles a la disminución de DTR por aumento de  $t_{min}$  elevadas.

El estudio que aquí se presenta puso en evidencia la importancia de atender específicamente distintos tipos de extremos térmicos, y cómo cada uno de ellos puede tener un impacto diferente dentro de la Pampa Húmeda ampliada. **Es por ello que resulta conveniente que pueda avanzarse en estudios de pronóstico estacional de extremos climáticos a fin de mejorar las estrategias de manejo de cultivos.**

# BIBLIOGRAFÍA

1. Alexander L, X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. M. G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez-Aguirre. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, D05109, doi: 10.1029/2005JD006290
2. Appendino M. L., Bartoloni N., Slafer, G. A. 2003 Vernalization Response and earliness per se in cultivars representing different eras of wheat breeding in Argentina. *Euphytica* 130: 61-69.
3. Argente Martínez, L., Garatuza Payán, J., Armendáriz Ontiveros, M., Yépez González, E., Arredondo Moreno, J., González Aguilera, J. 2017. Estrés térmico en cultivo del trigo. Implicaciones fisiológicas, bioquímicas y agronómicas. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 57-67.
4. Asseng S., Ewert F., Martre P., Rötter R. P., Lobell D., Cammarano D., Kimball B., Ottman M., Wall G., White J., Reynolds M., Alderman P., Prasad P., Aggarwal P., Anothai, Basso, Biernath, Challinor, De Sanctis, Doltra, Fereres, Garcia-Vila, Gayler, Hoogenboom, Hunt, Izaurre, Jabloun, Jones, Kersebaum, Koehler, Müller, Naresh Kumar, Nendel, O'Leary, Olesen, Palosuo, Priesack, Eyshi Rezaei, Ruane, Semenov, Shcherbak, Stöckle, Stratonovitch, Streck, Supit, Tao, Thorburn, Waha, Wang, Wallach, Wolf, Zhao, Zhu. 2014. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change* 5, 143–147.
5. Balla K, S. Bencze, T. Janda, O. Veisz. 2009. Analysis of heat stress tolerance in winter wheat. *Acta Agronomica Hungarica Agronomy* Vol 57, N 4. Pag 437-444.
6. Barberis, 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.
7. Barlow K., Christy B., Leary G., Riffkin P., Nuttall J. 2014. Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: A review. *Field Crops Research* Vol 171, Pag 109 -119.
8. Boggero J. 2016 Caracterización de la tolerancia a las heladas en Trigo (*Triticum Aestivum* L.) en etapas vegetativas y reproductivas. Trabajo de intensificación para acceder al título de Ingeniero Agrónomo. FAUBA 31pp.
9. Braganza K., Karoly D., Arblaster J. 2004. Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13217, doi:10.1029/2004GL019998.
10. Calderini D. F., Abeledo L. G., Savin R., Slafer G. A. 1999. Effect of temperature and carpel size during preanthesis on potential grain weight in wheat. *Journal of Agricultural Science* 132:453-459.
11. Calviño P., Sadras, V. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. *Field Crops Res.* 74, 1-11.
12. CMCC 2015. Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 21er período de sesiones Segunda parte: Medidas adoptadas por la Conferencia de las Partes en su 21er período de sesiones <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/10a01s.pdf>.
13. Collazo S. 2015. Variabilidad intermensual de las tendencias de los extremos de temperatura en el centro y norte de Argentina y su relación con la circulación media. Tesis de licenciatura (DCAO-FCEN-UBA) Buenos Aires, Argentina. 80 pags.
14. Craigen J, Atherton J. G Swett N. 1995. Modelling the effects of vernalization on progress to final leaf appearance in winter wheat *The Journal of Agricultural Science.* 124, 3, 369-377.
15. Damario E. A., Pascale A.J. 2011 Cartas agroclimáticas de las regiones pampeana, chaqueña y litoral de cultivo en secano (1941-1990). *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 31(3): 65-183.
16. Damario E. A., Pascale A.J. 1984. Fechas Medias estimadas de Primeras y Últimas Temperaturas mínimas perjudiciales para los cultivos en la Argentina *Rev, Facultad de Agronomía UBA*, 5(3): 193-211.
17. Dreccer M. F., Wockner K.B., Palta J.A., McIntyre C.L., Borgognone M.G., Bourgault M., Reynolds, M., Miralles D.J. 2014. More fertile florets and grains per spike can be achieved at higher temperature in wheat lines with high spike biomass and sugar content at booting. *Funct. Plant Biol.* 41, 482-495.
18. Donat MG, Alexander LV, Yang H, Durre I, Vose R, Dunn RJH, Willett KM, Aguilar E, Brunet M, Caesar J, Hewitson B, Jack C, Klein Tank AMG, Kruger AC, Marengo J, Peterson TC, Renom M, Oria Rojas C, Rusticucci M, Salinger J, Elrayah AS, Seele SS, Srivastava AK, Trewin B, Villarroel C,

- Vincent LA, Zhai P, Zhang X, Kitching S. 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. Vol 118, Nro 5, pags 2098-2118.
19. Fernández-Long M E, Müller G, Beltrán-Przekurat A, Scarpati O. 2013. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *Int. J. Climatol.* 33: 1673–1686.
  20. Fischer R.A., Maure, R.O., 1976. Crop temperature modification and yield potential in a dwarf spring wheat. *Crop Sci.* 16, 855-859.
  21. Fontana G., Toreti, A., Ceglar A., De Sanctis G. 2015. Early heat waves over Italy an their impacts on durum wheat yields. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1631–1637.
  22. Freund J, Miller I, Miller M. 2000. *Estadística matemática con aplicaciones*. Sexta edición edn. Pearson Educación: Naucalpán de Juárez, Mexico, 640 pp.
  23. Fuller M. P., Al-Issawi M., El-Sarkassy N. y Rihan H. Z, 2013. Frost Hardiness expression and Characterisation in Wheat at Ear Emergence. *Journal of agronomy and Crop Science*. ISSN 0931-2250.
  24. Fuller, M. P., A. M. Fuller, S. Kaniouras, J. Christophers, y T. Fredericks, 2007. The freezing characteristics of wheat at ear emergence. *Eur. J. Agron.* 26, 435–441.
  25. García G.A., Dreccer M., Miralles D., Serrago R. 2015. High night temperatures during grain number determination reduce wheat and barley grain yield: a field study. *Glob Chang Biol.* 2015 Nov;21(11):4153-64. doi: 10.1111/gcb.13009.
  26. García G.A., Serrago, R.A., Miralles, D.J. 2012. Mayores temperaturas nocturnas reducen el rendimiento en trigo y cebada: una aproximación ecofisiológica. XXIX Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Mar del Plata, Argentina. pp. 257.
  27. García G.A., Serrago, R.A., Dreccer, M.F., Miralles, D.J. 2016. Post-anthesis warm nights reduce grain weight in field-grown wheat and barley. *Field Crops Res.* 195, 50-59.
  28. Hampson Ch., Simpson G. 1990. Effects of temperature, salt, and osmotic potential on early growth of wheat (*Triticum aestivum*). I. Germination. *Canadian Journal of Botany*. Vol. 68, No. 3 : pp. 524-528.
  29. Hurtado R. 2005. Relación entre el rendimiento del cultivo de trigo y el almacenaje estimado de agua en el suelo, en las cinco provincias pampeanas. Tesis de Maestría.
  30. INASE Red de ensayos territoriales de trigo [http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102&Itemid=91](http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=91).
  31. IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Glosario de términos utilizados en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC* <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>.
  32. IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers. 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.
  33. Lesk C., Rowhani, P., Ramankutty, N. 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529 (7584), pp. 84-87.
  34. Iizumi T., Ramankutty, N. Changes in yield variability of major crops for 1981-2010 explained by climate change 2016 *Environmental Research Letters*, 11 (3), art. no. 034003.
  35. Lobell D. 2007. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. Energy and Environment Directorate. Lawrence Livermore National Laboratory. UCRL-JRNL-230756. 23pp.
  36. Lobell D., Ortiz-Monasterio, J. 2007. Impacts of Day Versus Night Temperatures on Spring Wheat Yields: A Comparison of Empirical and CERES Model Predictions in Three Locations. *Agron. J.* 99, 469–477.
  37. Magrin G., M. Travasso, G. Rodríguez, S. Solman, M. Núñez, 2009: Climate Change and Wheat Production in Argentina. *International Journal of Global Warming*, 1, 214-226.
  38. Mantua N. J., Hare S. R., Zhang Y., Wallace J. M., Francis R. C., 1997: A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1069–1079.
  39. Marengo J., Jones R., Alvesa L., Valverdea M. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate *Int. J. Climatol.* 29, 2241–2255 (2009)

40. Meinke H., Stone R.C. 2005. Seasonal and Inter-Annual Climate Forecasting: The New Tool for Increasing Preparedness to Climate Variability and Change in Agricultural Planning and Operations. In: Salinger J., Sivakumar M., Motha R.P. (eds) *Increasing Climate Variability and Change*. Springer, Dordrecht.
41. Monteith J.L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 281, 277-294.
42. Miralles D. J., González F.G., Abeledo L.G., Serrago R.A., Alzueta I., García G.A., de San Caledonio R.P., Lo Valvo P. 2014. Manual de trigo y cebada para el Cono Sur : procesos fisiológicos y bases de manejo . - 1a ed. - Buenos Aires. Orientación Gráfica Editora.
43. Miralles D. J., Abeledo L.G. 2013. Que cambios ocurrieron en los sistemas de producción de trigo y cebada en los últimos años en Argentina? Simposio A Todo Trigo. Mar del Plata (2013).
44. Miralles D. J. Windauer L.B., Gómez N. 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. Cap. V. Producción de granos. Bases funcionales para su Manejo. Editorial Facultad de agronomía. Universidad de Buenos Aires.
45. Pascale A. J., Damario E.A., 2004 *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*, Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina, 550p.
46. Porter J., Gawith M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy* 10. 23-36.
47. Rawson H, Zajac M., Penrose L. 1998. Effect of seedling temperature and its duration on development of wheat cultivars differing in vernalization response *Field Crops Research*. Vol 57, No 3, Pags 289–300.
48. Rusticucci M., Barrucand M. 2001. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorológica*. Vol. 26 pag 69-83.
49. Rusticucci M, Barrucand M. 2004. Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina. *Journal of Climate* vol 17, No. 20, 4099-4107.
50. Rusticucci M, Barrucand M, Collazo S. 2017. Temperature extremes in the Argentine central region and their monthly relationship with the mean circulation and ENSO phases. *International Journal of Climatology* 37, 6, 2797–3056
51. Rusticucci M., M. Renom. 2008. Variability and trends in indices of quality-controlled daily temperature extremes in Uruguay. *International Journal of Climatology*, 28, 1083-1095.
52. Semenov M., Porter J. 1995, Climatic variability and the modelling of crop yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 73, 3–4, 265-283, ISSN 0168-1923.
53. Schleussner C.-F., Lissner, T.K., Fischer, E.M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W., Schaeffer, M. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: The case of 1.5 °c and 2 °c. *2016 Earth System Dynamics*, 7 (2), pp. 327-351.
54. Shroyer J.P., Mikesell, M.E., Paulsen, G.M 1995. Spring freeze injury to Kansas wheat. Manhattan: Kansas State University, 1995. 12p.
55. Silva E., Rocca da Cunha G., Fernandes Pieres J., Dalmago G., Pasinato A. 2008. Factores abióticos envueltos na tolerancia de trigo à geadas. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.43, n.10, p.1257-1265.
56. Slafer G.A, Savin R. 2011 Limitantes a la expresión del potencial asociadas al estrés térmico Pg. 11-20. En “Limitaciones para la productividad de trigo y cebada” Eds. Castro, Hoffman, Viegas ISBN: 978-9974-0-0723-9. Editorial Fac Agronomía Universidad de la Republica, Uruguay. Pag. 202.
57. Slafer G.A. y Rawson H. M. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Aust. J. Plant Physiol.* 21, 393-426.
58. SMN Mapas Climáticos en:  
<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=elclima&id=74&clave=Precipitaci%F3n-Media>
59. Solomon S., Qin D., Manning M., Alley R., Berntsen T, Bindoff N., Chen Z, Chidthaisong A., Gregory j., Hegerl G., Heimann M., Hewitson B., Hoskins B., Joos F., Jouzel J., Kattsov V., Lohmann U., Matsuno T., Molina M., Nicholls N., Overpeck J., Raga G., Ramaswamy V., Ren J., Whetton P., Wood R. and Wratt D., 2007. Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.



Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

60. Stone P.J., Savin, R., Wardlaw, I.F., Nicolas, M.E., 1995. The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat. I. Grain growth. *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 945-954.
61. Suarez Cordo, M. 2016 Evaluación del daño por heladas en estado vegetativo de 32 cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) Trabajo de intensificación para acceder al título de Ingeniero Agrónomo. FAUBA 27pp.
62. 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>.
63. Thomashow M.F. 2001. So what's new in the field of plant cold acclimation? Lots! *Plant Physiol.* 125, 89-93.
64. Trenberth 1990. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*,71, 988–993.
65. Ugarte C., Calderini F, Slafer G 2007 Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale *Field Crops Research* 100 (2007) 240–248.
66. Van Ittersum M., Cassman K., Grassini P., Wolf J., Tittone P., Hochman Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance. A review. *Field Crops Research* 143, 4–17.
67. 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.
68. Vincent L., Peterson T., Barros V., Marino M, Rusticucci M., Carrasco G., Ramirez E., Alves L., Ambrizzi T, Berlatto M., Grimm A., Marengo J., Molion L., Moncunill F., Rebello E., Anunciação Y, Quintana J., Santos J., Baez J., Coronel G., Garcia J., Trebejo I., Bidegaint M., Haylock M., and Karoly D. 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18, 5011-5023.
69. Warrick B., Miller D.. *Freeze Injury on Wheat*. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, 1999. [http://lubbock.tamu.edu/files/2011/10/freezeinjuryonwheat\\_23.pdf](http://lubbock.tamu.edu/files/2011/10/freezeinjuryonwheat_23.pdf).
70. Wiegand C. L., Cuellar J. A. 1982. Duration of Grain Filling and Kernel Weight of Wheat as Affected by Temperature. *Crop Science*. 21, 1, 95-10.1.
71. Wilcoxon, Frank *Individual Comparisons by Ranking Methods*.1945. *Biometricas Bulletin*, 1,6, 80-83.