

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar
al Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

ÍNDICES AGROMETEOROLÓGICOS PARA LA
VALORACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y DE LA
VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DE LAS CONSECUENCIAS
EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Alumno: BOLINGER Carla Andrea
DNI: 32.954.105

Director: SEILER, Roberto

Río Cuarto – Córdoba
Septiembre 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: ÍNDICES
AGROMETEOROLÓGICOS PARA LA VALORACIÓN
DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y DE LA VARIABILIDAD
CLIMÁTICA Y DE LAS CONSECUENCIAS EN LA
PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Autor: BOLINGER CARLA ANDREA

Director: SEILER ROBERTO

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la
Comisión Evaluadora:

Fecha de Presentación: ____ / ____ / ____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a mi familia, por haber confiado en mí y haberme dado la posibilidad de estudiar esta carrera que hoy culmina. Agradezco a mis padres y hermanos, sin ellos no hubiese podido recorrer este camino, fueron mi sostén en cada momento.

A mi compañera y amiga Magalí con la cual compartí esta etapa, aprendiendo de cada experiencia juntas.

A mis abuelos que estuvieron presentes en cada rezo para ayudarme y darme ánimo siempre ante un examen.

A mi novio Ezequiel, quien estuvo a mi lado, aguantando mis nervios a la hora de rendir y entendiendo el tiempo que resigné junto a él por la Universidad.

A mis grandes amigos, los que Dios puso en mi camino, compañeros de mates, estudios, salidas y viajes; aquellos con los que compartí grandes momentos: estuvieron en los días felices y me dieron una mano para seguir adelante en los momentos tristes.

Finalmente, gracias a todos los que hicieron más amena mi vida universitaria, por ayudarme a transitar este camino desconocido en el que aprendí que con esmero, dedicación y perseverancia nada es imposible si te lo propones.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río de Cuarto, a sus profesores por la buena predisposición para formarnos no sólo como profesionales sino también como personas. Mereciendo un especial reconocimiento la cátedra de Agrometeorología.

Expreso mi profunda gratitud al profesor Dr. Roberto Seiler, por haber aceptado colaborar en la realización de este trabajo final destinando gran parte de su tiempo a él, colaborando en cada detalle y evacuando todas mis dudas, ayudando así a cumplir con esta meta, ser Ingeniera Agrónoma.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
HIPÓTESIS.....	7
OBJETIVOS.....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos específicos	7
MATERIALES Y MÉTODOS	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
1. Condiciones térmicas.....	11
1.1 Análisis de variabilidad	11
1.1.1 Ondas de calor.....	11
1.1.2 Períodos fríos.....	19
1.1.3 Días de calor totales por año.....	22
1.2 Tendencias de los índices en la serie analizada	24
2. Análisis Hidrometeorológico	26
2.1 Variabilidad de la ocurrencia de períodos secos.....	26
2.2 Tendencia pluviométrica en la serie analizada	38
CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de índices agrometeorológicos de temperatura.....	9
Cuadro 2. Descripción del índice agrometeorológico generado para lluvias	9
Cuadro 3. Parámetros estadísticos de los períodos de calor con T máx. $\geq 30^{\circ}$	17
Cuadro 4. Parámetros estadísticos de los períodos de calor con T. máx. $\geq 35^{\circ}\text{C}$	18
Cuadro 5. Parámetros estadísticos de las ondas de frío con $T \leq 15^{\circ}\text{C}$	21
Cuadro 6. Tendencia y niveles de significación de los índices térmicos.....	25
Cuadro 7. Parámetros estadísticos de los períodos secos con precipitaciones $< 1 \text{ mm}$	37
Cuadro 8. Tendencia y niveles de significación de los índices hídricos.....	38

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de calor de T. máx. diarias \geq 30°C en Río Cuarto	11
Figura 2. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de calor de T. máx. diarias \geq 30°C en Manfredi.....	12
Figura 3. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de calor de T. máx. diarias \geq 35°C en Río Cuarto	12
Figura 4. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de calor de T. máx. diarias \geq 35°C en Manfredi.....	13
Figura 5. Variabilidad interanual de la duración de ondas de calor de T. máx. diarias \geq 30°C en Río Cuarto	14
Figura 6. Variabilidad interanual de la duración de ondas de calor de T. máx. diarias \geq 30°C en Manfredi.....	14
Figura 7. Variabilidad interanual de la duración de ondas de calor de T. máx. diarias \geq 35°C en Río Cuarto	15
Figura 8. Variabilidad interanual de la duración de ondas de calor de T. máx. diarias \geq 35°C en Manfredi.....	16
Figura 9. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de frío de T. máx. diarias \leq 15°C en Río Cuarto	19
Figura 10. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de frío de T. máx. diarias \leq 15°C en Manfredi.....	20
Figura 11. Variabilidad interanual de la duración de ondas de frío de T. máx. diarias \leq 15°C en Río Cuarto	20

Figura 12. Variabilidad interanual de la duración de ondas de frío de T. máx. diarias \leq 15°C en Manfredi.....	21
Figura 13. Variabilidad interanual de la cantidad de días de calor de T. máx. diarias \geq a 30°C en Río Cuarto.....	22
Figura 14. Variabilidad interanual de la cantidad de días de calor de T. máx. diarias \geq a 30°C en Manfredi.....	23
Figura 15. Variabilidad interanual de la cantidad de días de calor de T. máx. diarias \geq 35°C en Río Cuarto.....	23
Figura 16. Variabilidad interanual de la cantidad de días de calor de T. máx. diarias \geq 35°C en Manfredi.....	24
Figura 17. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos totales por año	26
Figura 18. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos totales por año	27
Figura 19. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco por año	27
Figura 20. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco por año	28
Figura 21. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en verano	29
Figura 22. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en verano	29
Figura 23. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en verano.....	30
Figura 24. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en verano.....	30
Figura 25. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en otoño	31
Figura 26. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en otoño	31
Figura 27. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en otoño	32

Figura 28. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en otoño	32
Figura 29. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en invierno.....	33
Figura 30. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en invierno.....	33
Figura 31. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en invierno	34
Figura 32. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en invierno	34
Figura 33. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en primavera.....	35
Figura 34. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en primavera.....	35
Figura 35. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en primavera	36
Figura 36. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en primavera	36

RESUMEN

En Argentina, en el transcurso de los últimos años, se observa la ocurrencia de eventos atmosféricos que constituyen evidencias notables de variabilidad climática y de situaciones extremas del clima. A partir de la preocupación colectiva que los mismos generan, se estableció como objetivo de este trabajo caracterizar patrones de cambio climático y de variabilidad climática de temperaturas y lluvias, capaces de producir consecuencias en la producción agropecuaria. Para el estudio se utilizaron series de datos meteorológicos diarios de lluvias y de temperaturas máximas y mínimas del período 1974-2008 obtenidas de la Red Agrometeorológica de la U.N.R.C. y del INTA, de dos localidades del sur de Córdoba, Río Cuarto y Manfredi. A partir de los mismos se generaron índices y respectivas series de tiempo, las cuales fueron asociadas a información tal como ondas de frío, ondas de calor y sequías. Las series se analizaron en forma gráfica y estadística mediante técnicas descriptivas y de correlación-regresión en cuanto a su variabilidad y tendencia. Los resultados obtenidos permiten concluir que ambos lugares de la provincia de Córdoba manifiestan una marcada variabilidad interanual de los fenómenos estudiados y en la serie considerada. En Río Cuarto además se observan tendencias estadísticamente significativas de aumento en el tiempo de la cantidad de ondas de calor anuales con temperaturas iguales o mayores a 30°C y en la cantidad de días de calor totales por año, tanto aquéllos con temperaturas iguales o mayores a 30°C como 35°C. En el caso de Manfredi, ninguno de los índices analizados mostró tendencia estadísticamente significativa. Si bien los resultados obtenidos no constituyen un pronóstico de escenarios futuros del clima ni de su variabilidad en cuanto a los fenómenos estudiados, el conocimiento de la ocurrencia, frecuencia y amplitud de los mismos en el presente, permite alertar sobre la necesidad de estar adaptados para disminuir el impacto de esas ocurrencias sobre la producción agropecuaria.

Palabras clave: *cambio climático, variabilidad climática, ondas de frío, ondas de calor, sequías.*

SUMMARY

Agro-meteorological indexes for the assessment of climate change and climate variability, and its consequences in agricultural production

In Argentina, certain weather events have happened during the last years that are notable evidence of climate variability and extreme climate situations. Acknowledging the collective concern they represent, the target of this work consists in characterize patterns of climate change and climate variability in temperature and rainfall, able to produce effects on agricultural production. For this study, data sets of daily rainfall were used, as well as maximum and minimum temperatures for the period 1974-2008, obtained from the UNRC Agrometeorological Network and INTA for two locations in southern Cordoba: Rio Cuarto and Manfredi. Indexes and their time series, which were associated with information such as cold waves, heat waves and droughts, were generated from the aforementioned weather data. The series were analyzed using statistical descriptive techniques and correlation-regression for their variability and tendency. The results indicate that both locations of the province of Córdoba show a pronounced interannual variability of the studied phenomena along the analyzed series. In Rio Cuarto a statistically significant increases along the time of the amount of annual heat waves with temperatures at or above 30 ° C were also observed, as well as an increase of the total number of heat days per year, both for temperatures equal to or greater than 30 ° C and 35 ° C. In Manfredi's case, none of the analyzed indexes showed statistically significant trend. While the results do not represent a forecast of future scenarios of climate neither of its variability for the studied phenomena, the knowledge of the occurrence, frequency and extremes in the present, allows alerting about the need to adapt, to lessen the impact of such occurrences on agricultural production.

Keywords: *climate change, climate variability, cold waves, heat waves, droughts.*

INTRODUCCIÓN

Los elementos climáticos están inexorablemente unidos a condiciones esenciales de la vida humana, como son la disponibilidad de alimentos, las fuentes seguras de agua potable y la higiene (OMM, 2001). El Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC-WGI, 2007), pone de manifiesto la relevancia de los problemas emergentes del cambio climático y de la variabilidad climática, tanto del presente como de las proyecciones futuras. El calentamiento global, como hipótesis más fuerte de causa de esa variabilidad es inequívoco; once de los doce años entre 1995-2006 están entre los doce más cálidos desde 1850. Desde el Tercer Informe de Evaluación (IPCC, 2001) al presente, se ha notado un incremento de los eventos extremos y también de la certeza que los mismos se harán más frecuentes, más extendidos geográficamente y más intensos durante este siglo. A escala de grandes regiones, los cambios se proyectan en incrementos en las extremas de calor, en precipitaciones más intensas, en la intensidad de los ciclones tropicales, en sequías más severas, en cambios en el recorrido de las tormentas extra tropicales con consecuentes cambios en los patrones de la velocidad del viento, de las lluvias y de la temperatura (IPCC, 2001).

En la República Argentina, en el transcurso de los últimos años, ocurrieron eventos de público conocimiento que constituyen evidencias notables de variabilidad climática y de situaciones extremas. La severa sequía en una amplia zona del país, en la primavera de 2009; lluvias intensas en Tartagal, Salta, 2009; la primavera muy seca que retrasó las siembras de la campaña 2003-2004 en Córdoba, calificada como la sequía más severa de los últimos 30 años¹, la de 2008-2009 afectando casi toda la zona agrícola del país y la sequía del ciclo agrícola 2011-2012 (Seiler, 2012), son algunos casos destacables. Por citar sólo algunos eventos del mismo tipo y puntuales en el mundo, la severa sequía y los incendios en febrero de 2009 en Australia (Karoby, 2009); cuatro años continuados de sequías durante 1999 al 2002 en los estados de Carolina del Norte y del Sur en los Estados Unidos de Norte América (Onda Verde, 2008), fuertes inundaciones en Bolivia en 2008 (Escobar *et. al.*, 2007), son también ejemplos que aportan evidencias del cambio climático y de la variabilidad climática.

Los fenómenos producto del cambio climático y de la variabilidad climática producen efectos biológicos, físicos y productivos en distintas regiones. Por ejemplo se cita que determinadas especies están cambiando su área de distribución como consecuencia de su adaptación a las nuevas condiciones, a la vez que un gran número están entrando en procesos

¹ Comunicación personal con Roberto Seiler

de extinción. El otoño y el cambio de color de las hojas se han retrasado, mientras que en otros lugares la primavera y el verano han adelantado sus comienzos. En un congreso Rafael (2007) señaló que aves migratorias comienzan a modificar sus comportamientos habituales.

Todos estos cambios observados entre otros, se muestran correlacionados con las proyecciones de los impactos debido al cambio climático producido por el hombre y es muy improbable que sean debidos solamente a la variabilidad natural del clima. El incremento en la concentración de gases de efecto invernadero de las últimas tres décadas, es una sugerencia fuerte de lo antedicho (Rafael, 2007).

Entre los años 1996 y 2000, el número de países afectados por desastres naturales aumentó en forma alarmante (de 28 a 46). La mayoría de ellos corresponden a los llamados países en desarrollo, dejando manifiesta la mayor vulnerabilidad y la insuficiente adaptación para contrarrestar los efectos adversos de las variaciones del medio ambiente y las fluctuaciones del clima (OMM, 2001).

El fenómeno de Oscilación del Sur también se agrega como factor de variabilidad climática. El Niño, que fue inicialmente usado para describir un calentamiento del agua del Océano Pacífico Oriental cerca de las costas del Ecuador y Perú, incorpora expectativas de abundantes precipitaciones en esos países, durante la fase caliente del mismo. Este evento oceánico conocido como Oscilación del Sur, está asociado con una fluctuación a escala global de la presión atmosférica en la zona tropical y subtropical. El fenómeno conocido como el Niño Oscilación Sur (ENSO) se manifiesta en una escala de tiempo entre dos a siete años (Baede, 2007). El ENSO se asocia con un cambio de la temperatura de la superficie oceánica y los patrones de precipitaciones en el Pacífico tropical, pero también produce efectos a distancia en las lluvias y temperaturas en otras partes del mundo bajo el efecto denominado de teleconexiones (Baede, 2007).

El cambio climático y la variabilidad climática a través de fenómenos extremos también afectarán a muchos sectores y alterarán la distribución de las actividades económicas. Por ejemplo, la agricultura necesitará más agua que resultará más difícil de conseguir; disminuirá la demanda de calefacción pero podrá aumentar la de aire acondicionado y es probable que el turismo se concentre en otoño y primavera. Para muchos de estos cambios, las alternativas parecen estar asociadas con la adaptación en un contexto de desarrollo sostenible (Rafael, 2007). Pérdidas y condiciones extremas del tiempo se espera que continúen y aún se incrementen en el futuro (IPCC, 2012).

Mantener una adecuada producción de alimentos y productos agrícolas frente al crecimiento de la población y al aumento de los niveles de ingresos, planteará un desafío, independientemente del cambio climático inducido por el hombre. Según las proyecciones incluidas en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC-WGI, 2007), la producción

mundial de alimentos aumentaría en el marco de una suba de la temperatura media local del orden de 1°C a 3°C, pero podría disminuir si la temperatura es más elevada (Kim, 2012).

Nuevos resultados publicados desde 2007, son mucho menos optimistas. Estos resultados parecen indicar, en cambio, que el riesgo de que disminuya el rendimiento de los cultivos aumenta rápidamente a medida que el planeta se calienta. Se han observado grandes efectos negativos a temperaturas altas y extremas en varias regiones, entre ellas India, África, Estados Unidos y Australia. En Estados Unidos por ejemplo, se han observado importantes efectos no lineales en el comportamiento del maíz cuando las temperaturas diarias locales aumentan a 29°C, y a 30°C, en el caso de la soja. Estos nuevos resultados y observaciones indican que se corre el gran riesgo de cruzar umbrales de temperatura alta que podrían socavar considerablemente la seguridad alimentaria mundial en un planeta con 4°C más de temperatura (Kim, 2012).

En general, los productores agropecuarios han mostrado históricamente una importante flexibilidad frente a los comportamientos del clima. Se han tratado de adaptar a diferentes situaciones de mercado, políticas públicas y, específicamente a la incorporación de tecnologías que le permitieron hacer frente entre otros, a la variabilidad y a los extremos climáticos. Sin embargo, las continuas variaciones en los rendimientos de los diferentes cultivos reflejan la necesidad de seguir analizando los fenómenos climáticos extremos y sus patrones de comportamiento en el tiempo, como una necesidad inmediata de aumentar las capacidades de manejo y de disminuir los riesgos de impactos sobre la producción agropecuaria (Wehbe *et al.*, 2007).

Las pérdidas socioeconómicas no pueden evitarse por completo, pero es indudable que habrá menos consecuencias si se adoptan medidas de forma oportuna y adecuada (OMM, 2001). La humanidad tiene hoy poca capacidad de control de las adversidades del clima, sin embargo todavía queda mucho por hacer respecto de la caracterización de las mismas y sobre la comprensión de la vulnerabilidad y el uso de estrategias de manejo del riesgo para prevenir pérdidas futuras.

Mediante este trabajo se propone caracterizar aspectos del cambio climático y de la variabilidad climática, a través de un análisis de los patrones de variabilidad y de las tendencias temporales, de lluvias y temperaturas, en niveles y recurrencias capaces de producir amenazas a la producción agropecuaria del sur de Córdoba.

ANTECEDENTES

El cambio climático y la variabilidad climática incrementaron las extremas de calor y de las precipitaciones, dando lugar a regiones con sequías más severas y otras con precipitaciones mayores y más intensas (Pittaluga, 2005). Las implicancias de los cambios hídricos y térmicos en la producción agrícola, llevaron a muchos científicos a investigar sobre los mismos.

Respecto de las precipitaciones, Sierra *et al.* (1993/94) estudiaron el corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana del período 1941-1990, concluyendo que la isoyeta de 500 mm anuales que constituye el límite occidental de la Región, registró un considerable corrimiento hacia el oeste, alcanzando su mayor magnitud durante el decenio 1981-90. Esto contribuye a explicar en parte, la penetración de los cultivos de granos en el oeste de Buenos Aires, La Pampa y San Luis. La isoyeta anual de 750 mm que corresponde aproximadamente al límite entre la Pampa Húmeda y la Seca, también sufrió un corrimiento semejante, permitiendo el avance de la agricultura sobre la ganadería en áreas que anteriormente eran tradicionalmente mixtas. Por último, la isoyeta de 1000 mm anuales, que durante el período 1941-50 apenas pasaba por el este de la Región Pampeana, protagonizó una verdadera invasión en la misma explicando el ciclo de inundaciones registrado en la década del 90.

El fenómeno de El Niño, de gran implicancia en el cambio climático y en la variabilidad climática, promueve la probabilidad de precipitaciones por encima de lo normal en el este de Argentina. La fase negativa o de enfriamiento que hace que las temperaturas de las aguas del Pacífico oriental disminuyan por debajo de lo normal, recibe el nombre de La Niña, generando el efecto inverso al de El Niño, es decir mayor probabilidad de precipitaciones por debajo del promedio (OMM, 2001). Sobre el efecto que tiene el fenómeno de El Niño en la probabilidad de períodos secos en la Región Pampeana, Moschini *et al.* (1997) concluyeron que años con previsión temprana de un fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Sur), con acentuación de sus fases extremas, permitirían ajustar con bases racionales, decisiones de manejo como fecha de siembra, tipo de cultivo y variedad a implantar y nivel tecnológico a utilizar. De optar por maíz, en años con evento Niño, su etapa pre-post floración debería ubicarse a principios de diciembre, donde se registran las menores probabilidades de períodos secos. Contrariamente en años con episodios Niña, sería recomendable recurrir a especies como girasol o sorgo, con diferimiento de la época de floración hacia fines de enero y febrero. En las áreas ganaderas, en el supuesto de contar con mejores condiciones hídricas en años con fase caliente, podrían aprovecharse adaptando en forma acorde el manejo del campo natural en relación a su carga animal.

Respecto de eventos ocurridos en el pasado y en particular de sequía, Seiler (2012) señala que para un análisis retrospectivo a manera de un estudio de caso de una serie de una longitud de 40 años hacia atrás, se destacan tres episodios importantes por su severidad y por la afectación simultánea a escala local, regional y en general en una gran extensión del área agrícola de Argentina. Estos fueron las sequías de 1975-76 y de 1988-89 y la del ciclo 2011-2012. La sequía dentro de los extremos climáticos es un fenómeno muy complejo por las causas y por los factores que la determinan, condiciones que hacen difícil una única definición de la misma. Por otra parte, es un fenómeno que afecta a distintos sectores de la sociedad, por no decir a todos y en donde cada uno de ellos percibe los efectos desde su interés particular. La sequía no tiene el mismo significado para el productor agropecuario que para el proveedor de agua en una ciudad, para el constructor de caminos, para el ama de casa o para el sector de la salud, entre otros. En general se coincide que una sequía es una falta de agua respecto de valores normales o promedios, por un período más o menos prolongado en un lugar o región y cuya situación es capaz de afectar las actividades que dependen directa o indirectamente del agua (Sánchez, 2010). Sobre el concepto de sequía cabe señalar que la falta de agua es una ocurrencia temporaria. Si se transforma en permanente se configura el concepto de aridez, en donde el ambiente pasa a tener otras características.

En relación con los cambios y variabilidad de las temperaturas, Pascale y Damario (1993/94) analizaron la tendencia de la amplitud térmica diaria en la Argentina desde 1901 hasta 1990. Estos autores llegaron a la conclusión que en el transcurso del siglo veinte, la amplitud térmica media diaria computada a partir de los promedios climatológicos decádicos se redujo en forma significativa en todo el territorio de la Argentina. Para los autores citados esa reducción responde al registro simultáneo de disminución en las temperaturas máximas medias mensuales y al aumento en las mínimas medias mensuales. Durante el invierno, otoño y primavera, la disminución de la amplitud obedece más al aumento de las temperaturas mínimas medias que a la disminución de las máximas medias.

Otro estudio realizado por Moonen *et al.*, (2002) destaca que el clima es uno de los factores más limitantes en la producción agrícola. El riesgo de heladas durante el período de crecimiento y bajas e irregulares lluvias con alto riesgo de sequías durante el período del cultivo, son los problemas más comunes en la agricultura. En un estudio realizado en Italia, concluyen que los eventos de lluvias y temperaturas que ocurrieron en el período 1878-1999 evidenciaron un cambio hacia precipitaciones extremas más bajas. Los sucesos de lluvias extremadamente altas han permanecido sin cambios o incluso han decrecido; eventos de temperaturas frías han decrecido mientras que las temperaturas calurosas han permanecido sin cambios. Hasta aquí, los cambios mencionados no significarían efectos negativos en la producción de cultivos. El número de días con heladas por año han disminuido

significativamente resultando en una disminución en el riesgo de daños a los cultivos. Los cambios climáticos estimados son demasiado pequeños para permitirnos de forma confiable rechazar la hipótesis que estos podrían ser un reflejo de fluctuaciones en el muestreo de variabilidades naturales de los parámetros climáticos en un clima estacionario. A pesar de esto no hay dudas de la realidad de los cambios observados, los cuales pueden ser suficientemente grandes para ser de una importancia práctica para la agricultura. Considerando las distintas tendencias en varias estaciones, la importancia del cambio climático para la agricultura depende del cultivo que se considere.

Asociado con la variabilidad térmica, Grumm (2011) describe una intensa y continua onda de calor manifestada sobre Europa Central durante la mayor parte de los meses de junio, julio y agosto del 2010, que persistió gran parte del verano, constituyendo un record de altas temperaturas. Casi toda Rusia occidental registró el verano más caluroso de la historia, con temperaturas superiores a 40°C por muchos días y en la ciudad de Moscú se observaron temperaturas de más de 18°C y 16°C sobre la normal en los meses de julio y agosto, respectivamente. Las altas temperaturas combinadas con condiciones de sequía contribuyeron a incendios en el país, dando lugar además a la peor sequía desde 1972. Estas condiciones produjeron una disminución en la producción de los granos, en un 20-30% con respecto a los niveles del 2009 limitando la exportación de granos (Grumm, 2011).

Aunque está más allá del alcance de este estudio resolver el interrogante, resulta interesante preguntarse porqué fue tan persistente este acontecimiento. Hasta aquí es evidente que se produjo un período de calor sin precedentes y condiciones de sequía asociadas. Dentro de los impactos sociales que trajo como resultado la combinación de las altas temperaturas con el período seco se destacan incendios de turba, incendios forestales, disminución en la producción de trigos y un aumento en las tasas de mortalidad en ciudades como Moscú.

Rahmstorf y Coumou (2011) en un análisis de temperaturas extremas, concluyeron que el calentamiento global ha aumentado el número de nuevos records globales de temperaturas esperados para esta década en cinco veces. Esto implica una probabilidad de aproximadamente 80%, de que los registros de julio 2010 no hubieran ocurrido sin este calentamiento global.

Seiler (2012) destaca la intensidad y duración de la onda de calor, asociada también a una sequía severa, durante el período 2011-2012 en Río Cuarto, como fenómeno extremo asociado hipotéticamente al calentamiento global.

HIPÓTESIS

El clima y su variabilidad producen cambios temporales y espaciales de las variables climáticas, los cuales se detectan mediante el análisis del comportamiento de series de índices agrometeorológicos.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Caracterizar patrones de cambio climático y de variabilidad climática de temperatura y lluvias, capaces de producir consecuencias en la producción agropecuaria del sur de Córdoba.

Objetivos específicos:

- Obtener indicadores de temperatura y de humedad para dos áreas de Córdoba para la valoración del cambio y de la variabilidad climática.
- Determinar los patrones de comportamiento en el tiempo y en el espacio de indicadores como elementos para la valoración de amenazas climáticas a la producción agropecuaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se centra en el área de dos localidades de la provincia de Córdoba, Manfredi y Río Cuarto, como un análisis de casos para la determinación del comportamiento de la temperatura y de la lluvia frente al cambio climático y a la variabilidad climática. Para el desarrollo del trabajo, se utilizan series de datos meteorológicos diarios de lluvias y de temperaturas máximas y mínimas del período 1974-2008 de las estaciones meteorológicas de Río Cuarto y Manfredi, obtenidas de la Red Agrometeorológica de la U.N.R.C. (Seiler y otros, 1995; Rotondo y Seiler, 2001) y del INTA (www.inta.org.ar).

A partir de las series se calcularon parámetros o índices agrometeorológicos según se describen en el Cuadro 1. Estos se determinaron de acuerdo a Moonen *et al.*, (2002) siguiendo un criterio de efecto físico-biológico general. Los períodos de cálculo fueron el año calendario y las estaciones del año. Estas últimas fueron definidas como el período de acuerdo al siguiente criterio: Verano (diciembre, enero y febrero), Otoño (marzo, abril y mayo), Invierno (junio, julio y agosto), Primavera (septiembre, octubre y noviembre).

Cuadro 1. Descripción de índices agrometeorológicos de temperatura.

Índice	Umbral Térmico	Unidad	Frecuencia de Cómputo
Día de calor	T máx $\geq 30^{\circ}\text{C}$	Cantidad de días	Año
Día de calor	T máx $\geq 35^{\circ}\text{C}$	Cantidad de días	Año
Período de calor (onda de calor) (*)	T máx $\geq 30^{\circ}\text{C}$	-Duración (en días) del período más largo -Cantidad de períodos	Año, Mes (Diciembre, Enero y Febrero) Estación.
Período de calor (onda de calor)(*)	T máx $\geq 35^{\circ}\text{C}$	-Duración (en días) del período más largo -Cantidad de períodos	Año, Mes (Diciembre, Enero y Febrero) Estación.
Período frío (ondas de frío) (*)	T máx $\leq 15^{\circ}\text{C}$	-Duración (en días) del período más largo -Cantidad de períodos	Año Invierno

(*) Período: lapso de tiempo igual o mayor de dos días consecutivos con temperatura \geq o \leq al umbral térmico considerado; T max: Temperatura máxima diaria.

En el Cuadro 2 siguiendo los mismos lineamientos de Moonen *et al.*, se presentan los indicadores de precipitación.

Cuadro 2. Descripción del índice agrometeorológico generado para lluvias.

Índice	Umbral Pluviométrico	Unidad	Frecuencia de Cómputo
Período seco (sequía) (*)	Precipitación diaria $<$ de 1 mm.	-Cantidad de períodos -Duración (en días) del período más largo	Año Estación

(*) Período: lapso de tiempo igual o mayor de tres días consecutivos con precipitación inferior al umbral pluviométrico considerado.

Para cada uno de los parámetros o índices se construyeron series de tiempo, las cuales son asociadas a información como ondas de frío, ondas de calor y sequías, respectivamente. Respecto de estos conceptos Geer (1996), define “onda de frío” como una rápida caída de la temperatura dentro de las 24 hs requiriendo una protección substancial para la agricultura, la industria, el comercio y las actividades sociales; la velocidad de descenso de la temperatura, así como el valor mínimo que se registra, depende de la región, de la época del año en la que ocurre y de las condiciones sinópticas reinantes asociadas con la ocurrencia del fenómeno. Para el mismo autor, -“onda de calor”- es un intervalo de tiempo con calor anormal e incómodo al menos de un día, pero que corrientemente se extiende por varios días, incluso semanas.

Las series se analizaron en forma gráfica y estadística mediante técnicas descriptivas y de correlación-regresión (Neter y Wasserman, 1974) en cuanto a su variabilidad y tendencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Condiciones Térmicas

1.1. Análisis de la Variabilidad

1.1.1. Ondas de calor

De acuerdo a la metodología señalada se analizaron las ocurrencias de períodos de calor u “ondas de calor” para dos niveles distintos de temperaturas máximas diarias. Esto es iguales o mayores a 30°C y a 35°C, respectivamente y para las áreas geográficas de Río Cuarto y de Manfredi.

En Río Cuarto, la ocurrencia anual de ondas de calor ($t. \text{máx.} \geq 30^{\circ}\text{C}$) muestra una constante fluctuación interanual alrededor del promedio de la serie analizada (Fig.1), con un año de mínima ocurrencia de seis ondas de calor en 1979 y, un registro máximo de ocurrencia de veintiún casos en el 2008.

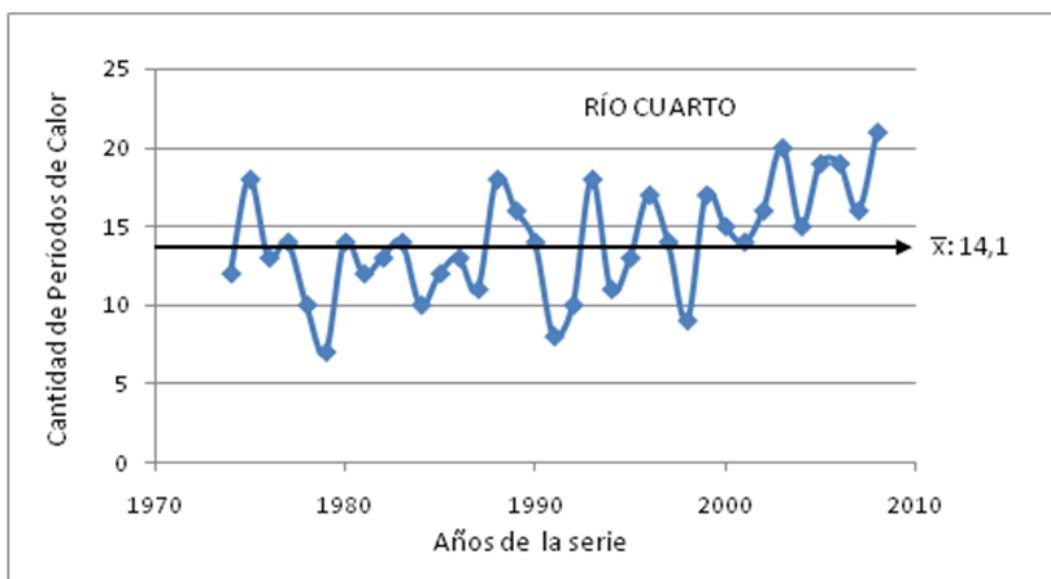


Fig. 1. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de calor de T. máx. diarias \geq a 30°C en Río Cuarto.

En Manfredi (Fig. 2) se observa un comportamiento similar al de Río Cuarto en cuanto a la variabilidad interanual de ocurrencia de ondas de calor. En los años 1988 y 1993 se registraron veinte ondas de calor y un mínimo para la serie de ocho ondas en 1981. Sin embargo, entre ambos lugares se destaca una diferencia en la ocurrencia de períodos de calor según el índice descrito. En Río Cuarto por ejemplo, el patrón de fluctuaciones ocurre notablemente por encima de la media de la variabilidad desde el año 2000 al 2008, mientras

que Manfredi posee fluctuaciones durante los mismos años pero nunca alcanzan los altos valores de Río Cuarto.

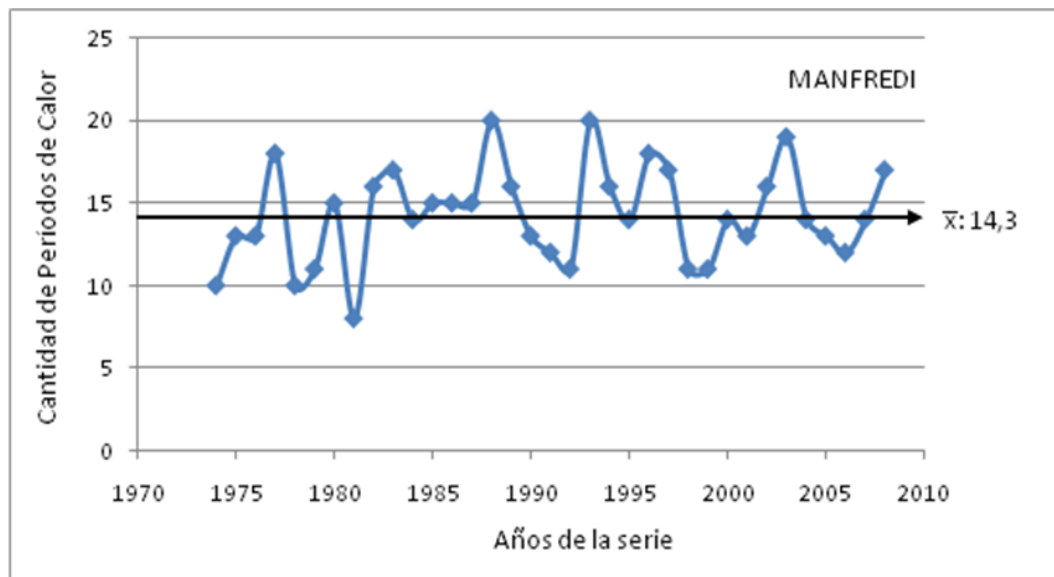


Fig. 2. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de calor de T. máx. diarias \geq a 30°C en Manfredi.

Las ondas de calor con temperaturas iguales o superiores a 35°C muestran también una variabilidad interanual en ambos lugares, como lo analizado anteriormente. En Río Cuarto (Fig. 3) las fluctuaciones tienden a ser más extremas desde el año 2000 hasta el final de la serie analizada, con casos de hasta siete ondas de calor por año.

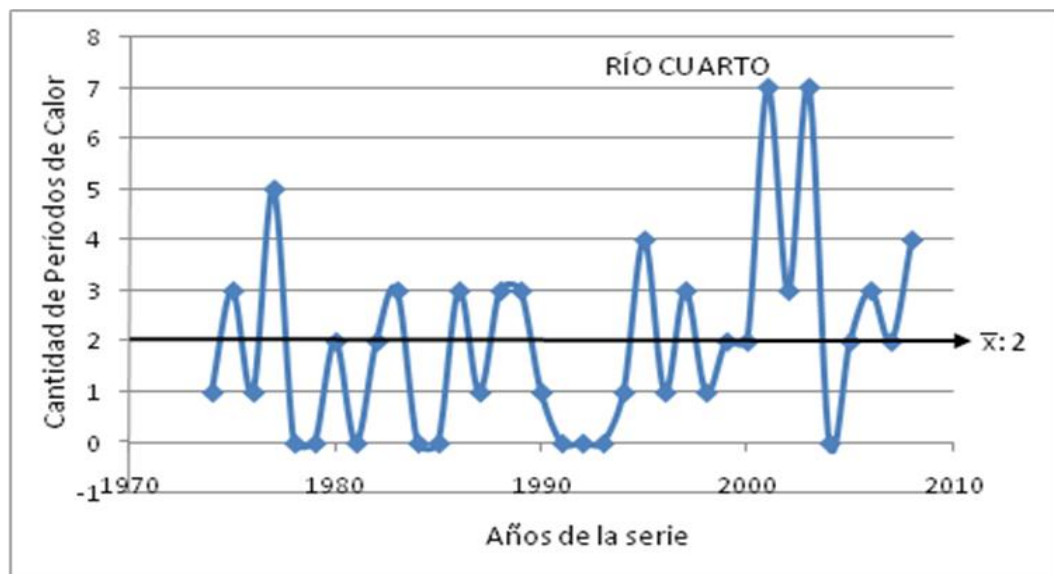


Fig. 3. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de calor de T. máx. diarias \geq a 35°C en Río Cuarto.

En Manfredi por el contrario, se observan situaciones extremas de hasta cinco ondas de calor en dos años anteriores a 1990 y fluctuaciones más moderadas en los años más recientes (Fig. 4). Es importante señalar que este nivel de ondas de calor ($T \geq 35^{\circ}\text{C}$) no se observa todos los años en las localidades y períodos analizados. En las Figuras 3 y 4 pueden comprobarse años con nula ocurrencia del indicador, a diferencia de aquellas de temperaturas máximas iguales o superiores a 30°C .

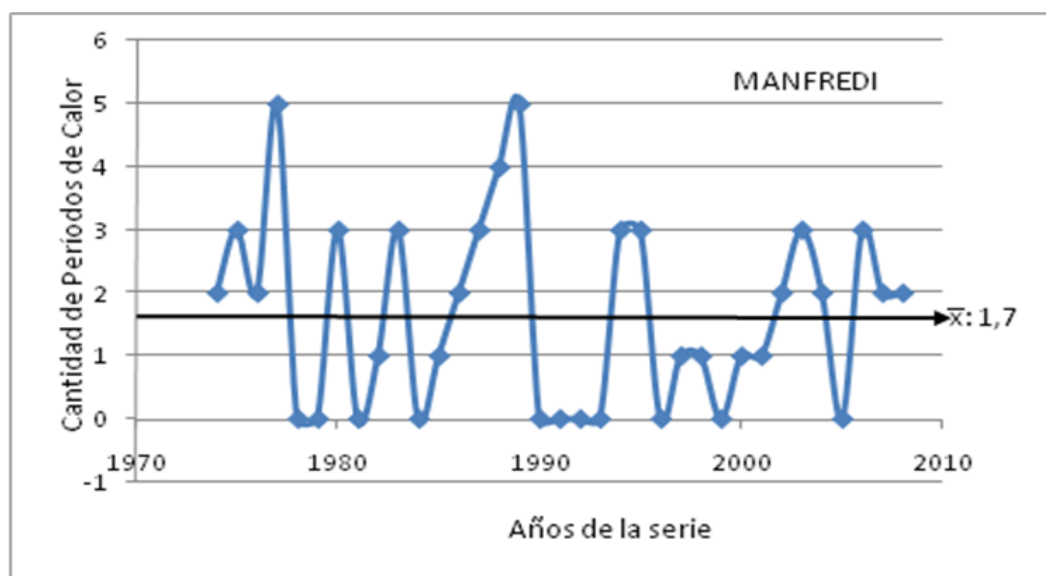


Fig. 4. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de calor de T. máx. diarias $\geq 35^{\circ}\text{C}$ en Manfredi.

La variabilidad de la duración de las ondas de calor de temperaturas máximas iguales o mayores a 30°C y a 35°C , para la localidad de Río Cuarto y Manfredi, se muestra en las Figuras 5 y 6.

La variabilidad interanual de la duración de las ondas de calor en Río Cuarto muestra un aumento de la amplitud de las fluctuaciones desde 1987 en adelante. En ese período de la serie se observan casos de tres días de duración (1991 y 2000) y otros superiores a doce días, con un evento máximo de dieciséis días consecutivos de duración en el año 2001.

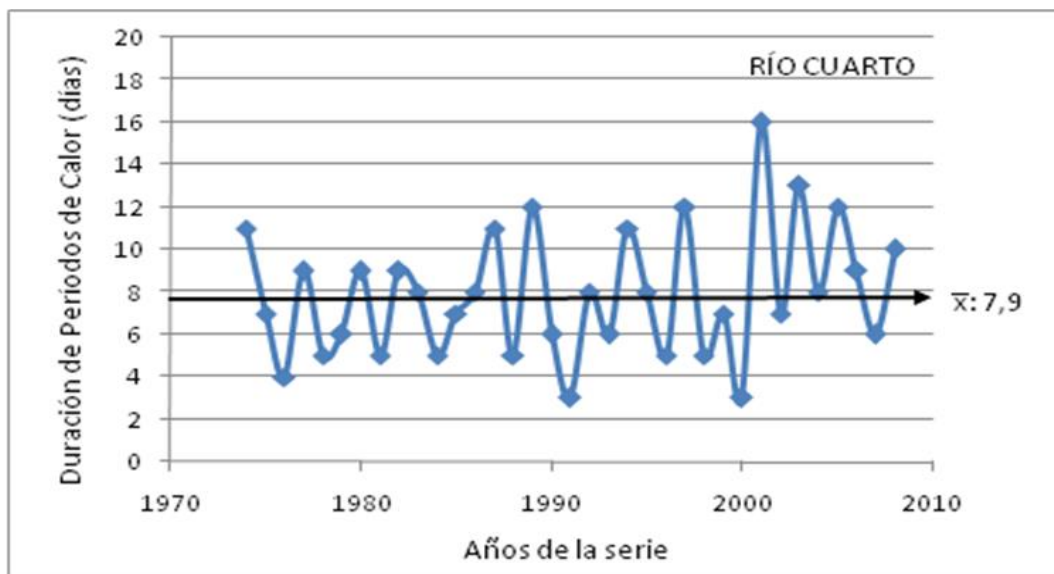


Fig. 5. Variabilidad interanual de la duración de ondas de calor de T. máx. diarias \geq a 30°C en Río Cuarto.

En Manfredi (Fig. 6) se observa una disminución en la duración desde el año 1990 en adelante y un mayor número de valores por debajo o igual a la media considerada.

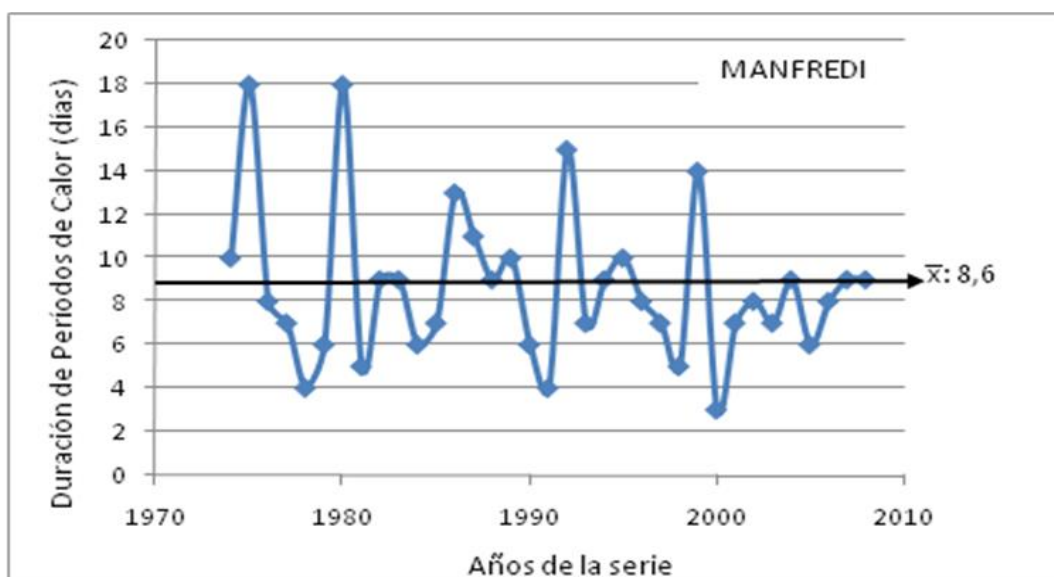


Fig. 6. Variabilidad interanual de la duración de ondas de calor de T. máx. diarias \geq a 30°C en Manfredi.

La duración de ondas de calor con temperaturas máximas iguales o superiores a 35°C en Río Cuarto (Fig. 7) muestran una variabilidad interanual moderada, con períodos entre

dos a cinco o seis días de duración a lo largo de la serie. Se destaca un caso en febrero del año 2001, el cual tuvo una duración de diez días durante el mes de febrero.

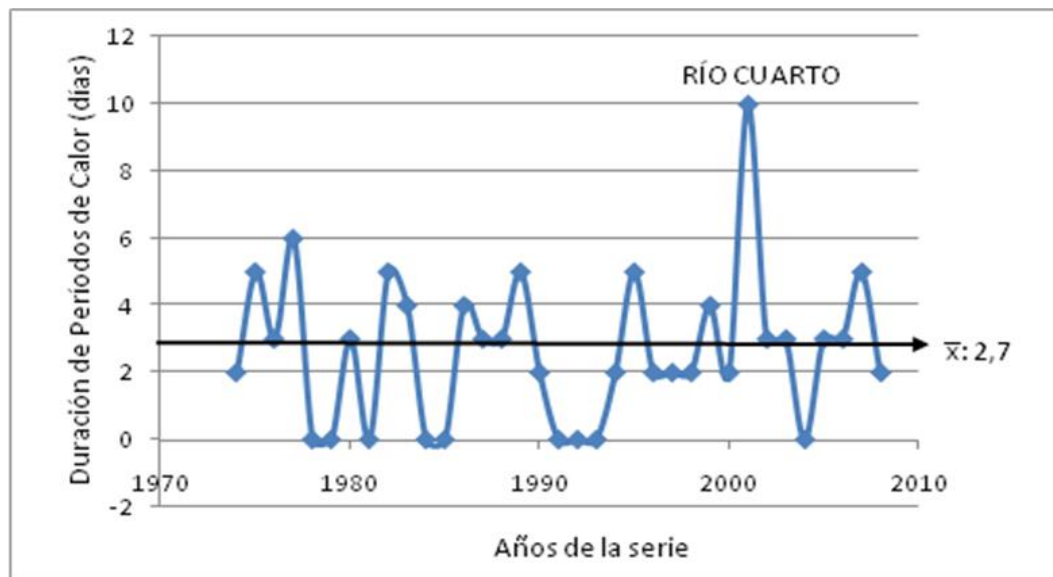


Fig. 7. Variabilidad interanual de la duración de ondas de calor de T. máx. diarias \geq a 35°C en Río Cuarto.

Manfredi (Fig. 8) muestra una variabilidad interanual más heterogénea en cuanto a la ocurrencia de valores extremos de duración de ondas de calor. Las duraciones extremas se produjeron al principio de la serie hasta 1989. A partir de ese año las ondas de calor muestran una duración menor. Destaca también para este lugar un valor máximo que se observa en el año 1983 de ocho días de duración, que correspondió al mes de diciembre. Una diferencia entre las localidades para estas ondas de calor de altas temperaturas, es que mientras que Río Cuarto muestra una variabilidad más homogénea a lo largo de toda la serie, Manfredi presenta mayor heterogeneidad en cuanto al patrón de variación interanual.

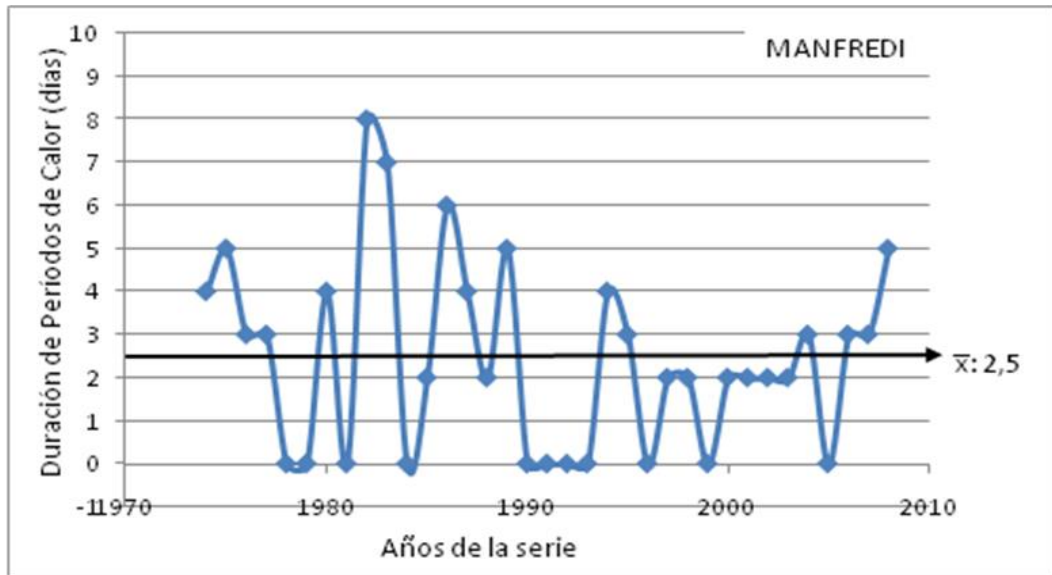


Fig. 8. Variabilidad interanual de la duración de ondas de calor de T. máx. diarias \geq a 35°C en Manfredi.

A manera de síntesis, en los cuadros 3 y 4 se presentan valores numéricos de los parámetros estadísticos de comparación de patrones de variabilidad de los períodos de calor de distinta severidad para los lugares seleccionados, por año y también por meses y estaciones del año, considerados.

Cuadro 3. Parámetros estadísticos de los períodos de calor con T máx. $\geq 30^{\circ}\text{C}$. (\bar{X} : media de la serie; Mx: valor máximo de la serie; C.V.: coeficiente de variación)

Índice	Descripción	Unidad	Intervalo de Cómputo	Río Cuarto			Manfredi		
				\bar{X}	Mx	C.V.	\bar{X}	Mx	C.V.
Períodos de calor	T. máx. $\geq 30^{\circ}\text{C}$	Cantidad	Año	14,1	21	24,6	14,3	20	20,4
			Diciembre	2,9	5	44,2	3,2	6	41,5
			Enero	3,4	6	33,4	3,2	5	35,3
			Febrero	2,3	5	51,1	2,6	5	44,9
			Primavera	3,5	7	48,8	3,5	8	49
			Verano	8,1	14	35,0	8,9	13	22,2
Períodos de calor	T. máx. $\geq 30^{\circ}\text{C}$	Duración (días consecutivos)	Año	7,9	16	38,4	8,6	18	41
			Diciembre	4,8	12	56,9	5,2	18	60,9
			Enero	5,1	13	52,3	6,2	18	56,2
			Febrero	4,9	16	58,5	4,7	14	56,7
			Primavera	3,9	12	58,1	4,5	9	40,9
			Verano	7,7	21	52,1	8,2	18	48,4

Observando los promedios, los valores máximos de ocurrencias y los coeficientes de variación de la cantidad de períodos de calor no se visualizan diferencias importantes entre las dos localidades estudiadas, Río Cuarto y Manfredi, tanto para las series anuales de análisis, como la de cada uno de los meses más cálidos (diciembre, enero y febrero) y de las estaciones primavera y verano, excepto entre la variabilidad de la serie de febrero y del verano, donde se destacan para Río Cuarto valores mayores que Manfredi (Cuadro 3).

Cuando se considera la duración máxima de las ondas de calor, se observa que en Manfredi respecto de Río Cuarto, las duraciones son algo mayores en diciembre, enero y en el año completo. En Río Cuarto la duración máxima de las ondas de calor son mayores en febrero, en la primavera y en el verano. La variabilidad de la duración de los períodos de calor en la primavera es mucho mayor en Río Cuarto que en Manfredi, mientras que Manfredi presenta mayor variabilidad que Río Cuarto en diciembre, enero y en el año.

El análisis de las ondas de calor de temperaturas más rigurosas (T. máx. $\geq 35^{\circ}\text{C}$), se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Parámetros estadísticos de los períodos de calor con T. máx. $\geq 35^{\circ}\text{C}$. (\bar{X} : media de la serie; Mx: valor máximo en la serie; C.V.: coeficiente de variación)

Índice	Descripción	Unidad	Intervalo de Cómputo	Río Cuarto			Manfredi		
				\bar{X}	Mx	C.V.	\bar{X}	Mx	C.V.
Períodos de calor	T. máx. $\geq 35^{\circ}\text{C}$	Cantidad	Año	2	7	93,2	1,7	5	90,2
			Diciembre	0,6	3	154,7	0,5	3	159,0
			Enero	0,4	3	172,5	0,5	3	150,5
			Febrero	0,3	3	262,6	0,1	2	353,3
			Primavera	0,6	3	148,8	0,4	2	173,8
			Verano	1,3	8	134,2	1,1	7	135,4
Períodos de calor	T. máx. $\geq 35^{\circ}\text{C}$	Duración (días consecutivos)	Año	2,7	10	83,1	2,5	8	89,0
			Diciembre	1,2	5	151	1,2	8	172,5
			Enero	0,8	5	163,6	1,3	6	146,1
			Febrero	0,6	10	304,0	0,2	3	338,7
			Primavera	0,9	5	151,9	0,7	3	165,0
			Verano	2,0	10	113,1	2,1	9	114,5

Las comparaciones en este caso revelan que la mayor diferencia al analizar la cantidad de períodos de calor, se observa en una mayor variabilidad, en la primavera y en febrero en la localidad de Manfredi. Respecto de la duración de estas ondas de calor, se destaca un valor máximo de la serie de febrero en Río Cuarto, que consecuentemente reaparece en la serie anual y en la del verano. Mientras que al observar la variabilidad se observan valores mayores en Manfredi durante febrero, diciembre y en la primavera.

El análisis comparativo previo no parece reflejar una tendencia de comportamiento climático diferencial de los índices entre ambas localidades. A manera de síntesis, se observa como consistente que la cantidad y duración de los períodos de calor para ambas localidades y niveles térmicos se registran en el verano. Para el mismo, los promedios de ocurrencia y los máximos de la cantidad y duración de períodos de calor son similares entre ambas localidades, mientras que la variabilidad es mayor en Río Cuarto respecto de Manfredi, solo para el nivel de temperaturas máximas iguales o mayores de 30°C .

1.1.2. Períodos fríos

Los períodos fríos (ondas de frío), definidos como los lapsos de tiempo iguales o mayores de dos días con temperaturas máximas menores o iguales a 15°C, muestran también una variabilidad interanual, tanto en el número de sucesos como en la duración de los mismos.

En el caso de Río Cuarto (Fig. 9) se puede observar que la ocurrencia de períodos fríos por año, muestran fluctuaciones interanuales alrededor del promedio de la serie, con registros mayores destacables alrededor de los años noventa y con una variabilidad sin mayores situaciones extremas en el resto de la serie analizada.

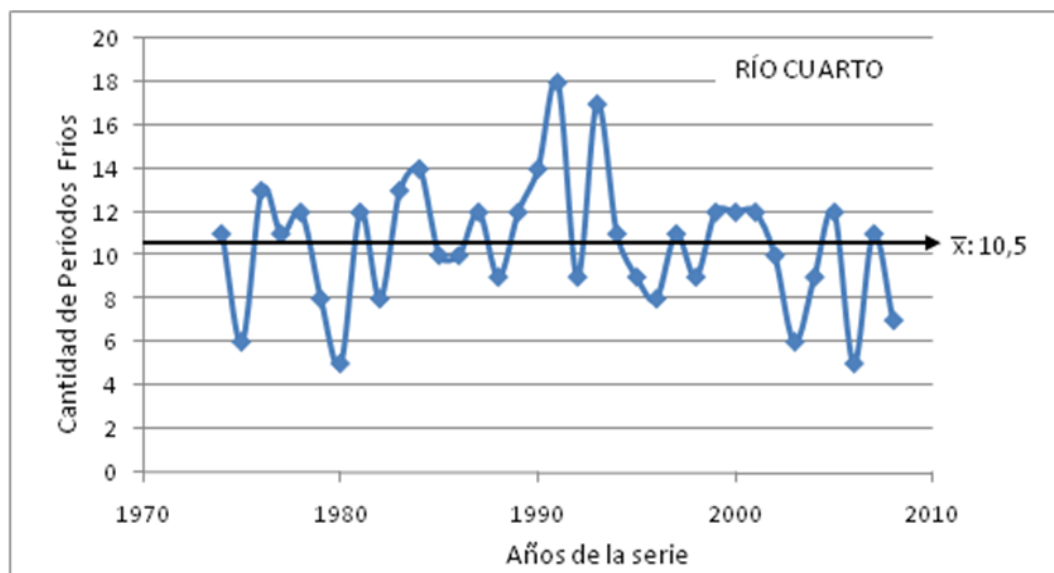


Fig. 9. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de frío de T. máx. diarias \leq a 15°C en Río Cuarto.

En Manfredi (Fig. 10), la variabilidad de las ondas de frío es más irregular y con mayor cantidad de valores extremos alrededor del promedio de la serie. Las comparaciones en este caso muestran que Manfredi presenta un leve aumento en la cantidad de períodos fríos en los últimos años mientras que en Río Cuarto ocurre lo contrario.

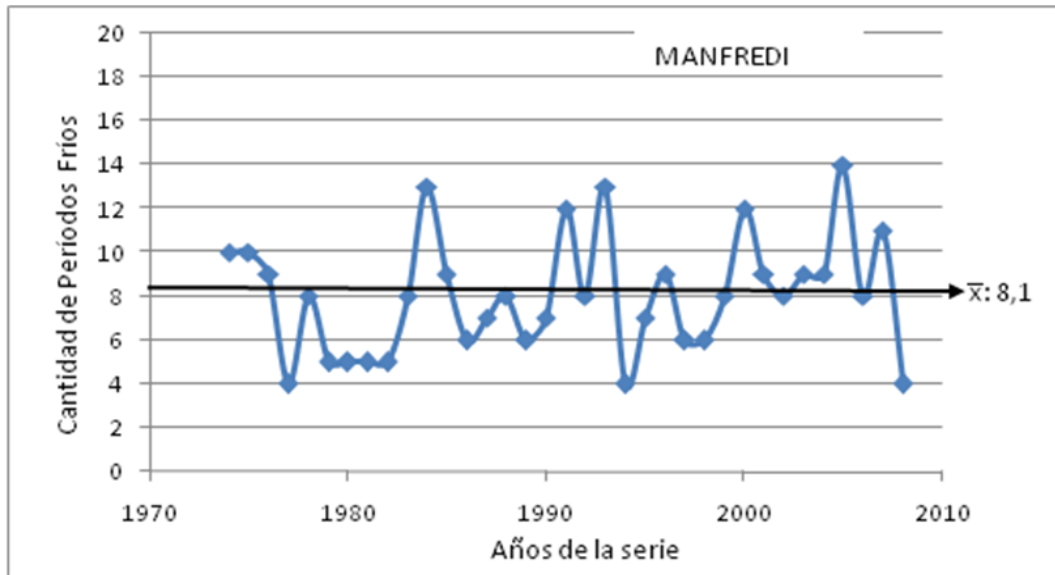


Fig. 10. Variabilidad interanual de la cantidad de ondas de frío de T. máx. diarias \leq a 15°C en Manfredi.

La variabilidad de la duración de las ondas de frío de temperaturas máximas iguales o menores a 15°C, para la localidad de Río Cuarto y Manfredi, se muestran en las Figuras 11 y 12. La amplitud de las variaciones y la duración media de los períodos fríos es mayor en Río Cuarto que en Manfredi.

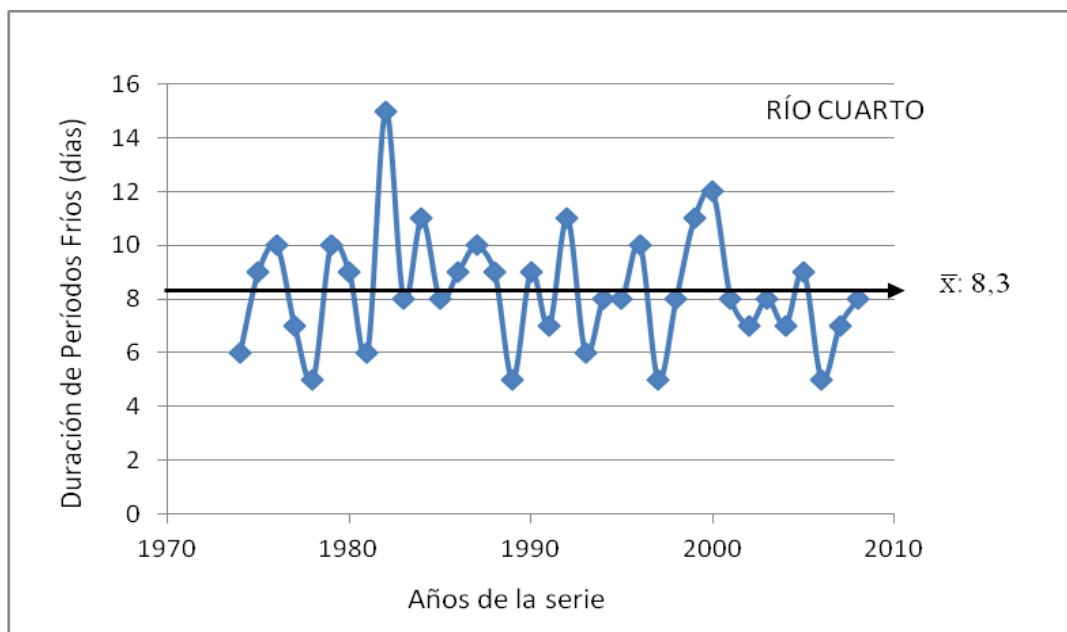


Fig. 11. Variabilidad interanual de la duración de ondas de frío de T. máx. diarias \leq a 15°C en Río Cuarto.

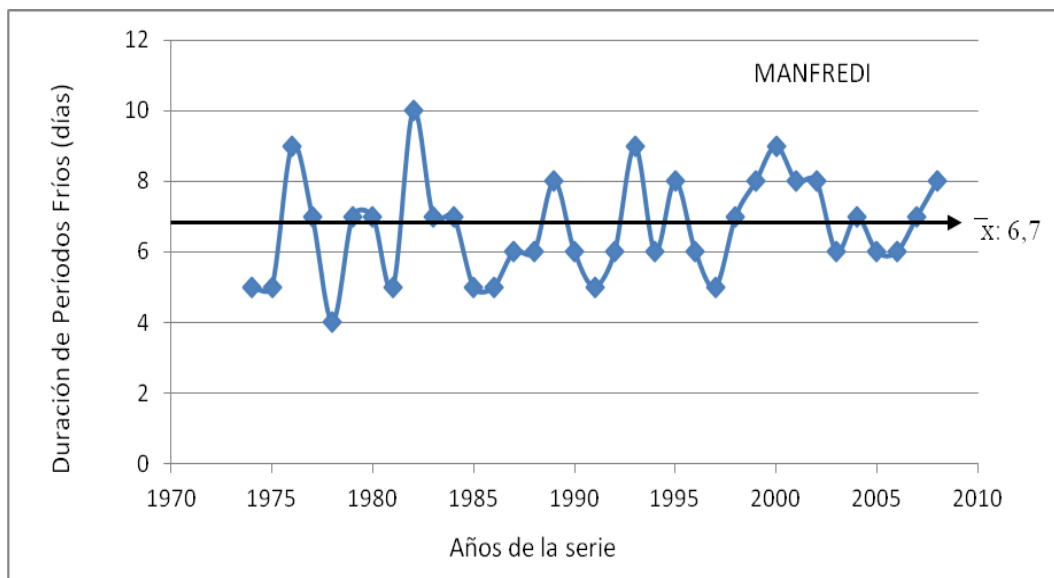


Fig. 12. Variabilidad interanual de la duración de ondas de frío de T. máx. diarias \leq a 15°C en Manfredi.

El análisis de las ondas de fríos ($T \text{ máx.} \leq 15^{\circ}\text{C}$) se presentan a continuación en el cuadro 5.

Cuadro 5. Parámetros estadísticos de las ondas de frío con $T \leq$ a 15°C . (\bar{X} : media de la serie; Mx: valor máximo en la serie; C.V.: coeficiente de variación)

Índice	Descripción	Unidad	Intervalo de Cómputo	Río Cuarto			Manfredi		
				\bar{X}	Mx	C.V.	\bar{X}	Mx	C.V.
Períodos fríos	T. máx. \leq 15°C	Cantidad	Año	10,5	18	28,2	8,1	14	33,2
			Invierno	7,5	12	24,2	6,1	11	29,3
Períodos fríos	T. máx. \leq 15°C	Duración (días)	Año	8,3	15	26,4	6,7	10	21,4
			Invierno	8,1	15	27,2	6,6	10	22,4

Río Cuarto muestra una media y valores máximos mayores que Manfredi en la cantidad de ondas de frío y la duración de las mismas, a lo largo de la serie analizada, tanto al considerar todo el año como en el invierno. Sin embargo respecto de la variabilidad, Manfredi presenta valores mayores en la cantidad de ondas de frío, pero menores en la duración de las mismas.

1.1.3. Días de calor totales por año

La ocurrencia de temperaturas elevadas, aún de solo un día en particular, puede tener efectos físicos y biológicos negativos. Por supuesto, los impactos pueden ser mayores con una sucesión de días consecutivos que conforman un período de calor u onda de calor, como fuera analizado previamente. En este sentido se analizó para cada uno de los lugares seleccionados, el patrón de variabilidad de la cantidad de días de calor total en el año, consecutivos o no, con temperatura máximas diarias iguales o mayores a 30°C y a 35°C.

En Río Cuarto (Fig. 13) se observa una marcada variabilidad interanual de la cantidad de días totales de calor por año, con un aumento en la cantidad a partir de 1999. En la serie analizada se destaca un año de 103 días de calor (2005) y un mínimo de días calientes de 30 en 1979.

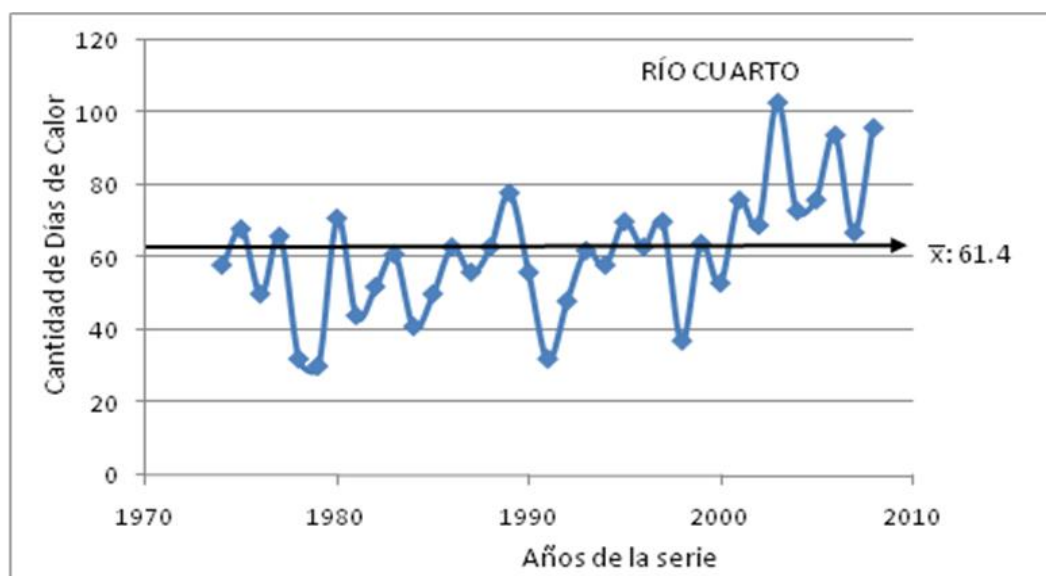


Fig. 13. Variabilidad interanual de la cantidad de días de calor de T. máx. diarias \geq a 30°C en Río Cuarto.

En Manfredi (Fig.14), también se muestra una variabilidad interanual de esta variable, con un valor mínimo de 35 días en 1978 y un valor máximo de 92 días en 1989 aunque no se observa el aumento que mostró Río Cuarto a partir de 1999.

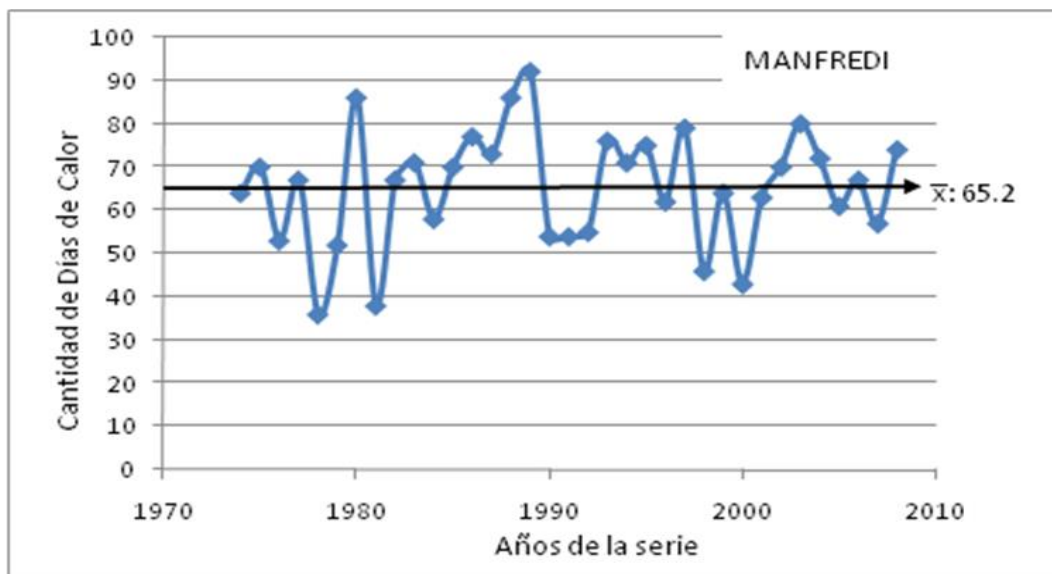


Fig. 14. Variabilidad interanual de la cantidad de días de calor de T. máx. diarias \geq a 30°C en Manfredi.

Para el caso de ocurrencia de días con temperaturas diarias iguales o superiores a 35°C, tanto en Río Cuarto (Fig. 15) como en Manfredi (Fig. 16), dentro de la variabilidad aparecen años sin días calientes del nivel seleccionado o de pocos días. Sin embargo en otros, abundan casos de quince días o más por año con temperaturas del nivel seleccionado.

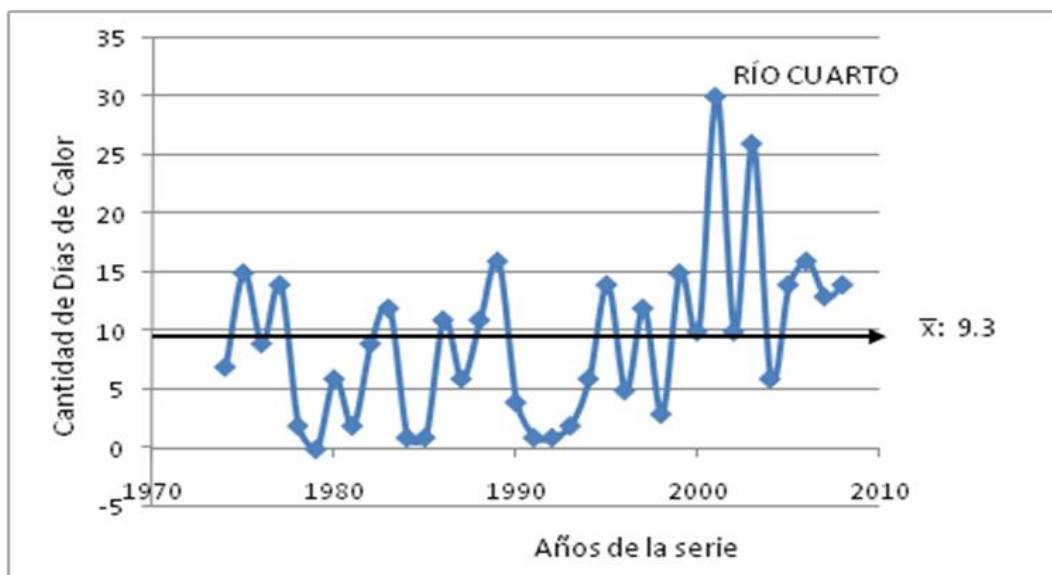


Fig.15. Variabilidad interanual de la cantidad de días de calor de T. máx. diarias \geq a 35°C en Río Cuarto.

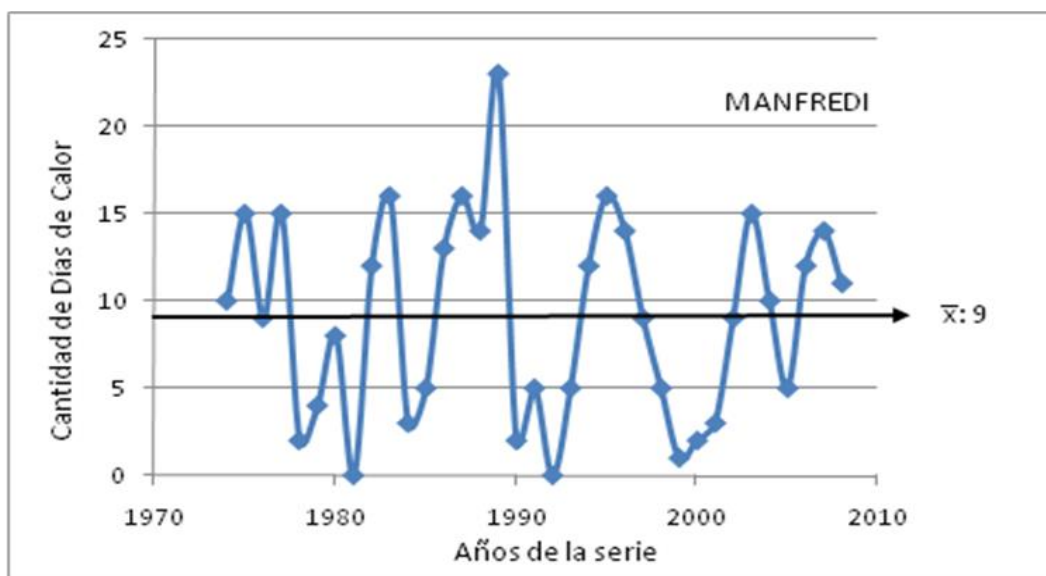


Fig. 16. Variabilidad interanual de la cantidad de días de calor de T. máx. diarias \geq a 35°C en Manfredi.

1.2. Tendencias de los índices en la serie analizada

Cuando se analiza la cantidad de ondas de calor y la duración máxima por año, con temperaturas diarias iguales o superiores a 30°C en Río Cuarto, se observa que las pendientes de la regresión para ambos índices son positivas, siendo significativa al nivel del 1%, solo para la cantidad de ondas de calor. Esto indica para ambas variables una tendencia de aumento que se hace más notoria desde el año 2000 al 2008, aunque significativa solo para la primera variable mencionada (Cuadro 6). En el caso de Manfredi, la cantidad de ondas de calor y la duración máxima por año, con temperaturas diarias iguales o mayores a 35°C denotan una pendiente negativa no significativa al nivel del 1%, al igual que la duración del período máximo de calor anual con temperaturas diarias iguales o mayores a 30°C.

La cantidad de días totales por año con temperaturas diarias iguales o superiores a 30 y 35 °C para la localidad de Río Cuarto, muestran también una tendencia significativa de aumento en la serie estudiada (1974-2008).

Con respecto a la cantidad de días totales por año con temperaturas diarias iguales o superiores a 30°C y 35°C para la localidad de Manfredi, no se realizó análisis porque no manifestaba tendencia.

Cuadro 6. Tendencia y niveles de significación de los índices térmicos. (R^2 : coeficiente de determinación; b: pendiente de la curva; t: t de Student)

Índice	Descripción	Lugar	R^2	b	t	Prob \geq t
Cantidad de períodos de calor (totales/año)	T. máx. \geq 30°C	Río Cuarto	0,2463	0,16751	3,28	0,0024
Cantidad de períodos de calor (totales/año)	T. máx. \geq 35°C	Manfredi	0,0092	-0,01401	-0,55	0,5830
Duración del período de calor (año)	T. máx. \geq 30°C	Río Cuarto	0,0535	0,06835	1,37	0,1811
Duración del período de calor (año)	T. máx. \geq 30°C	Manfredi	0,0366	-0,06583	-1,12	0,2708
Duración del período de calor (año)	T. máx. \geq 35°C	Manfredi	0,0291	-0,03641	-0,99	0,3272
Cantidad de días calientes no consecutivos (totales/año)	T. máx. \geq 30°C	Río Cuarto	0,2999	0,91401	3,76	0,0007
Cantidad de días calientes no consecutivos (totales/año)	T. máx. \geq 35°C	Río Cuarto	0,1536	0,26583	2,45	0,0199

2. Análisis Hidrometeorológico

2.1. Variabilidad de la ocurrencia de períodos secos.

El número de períodos secos por año, representado por aquellos días consecutivos con precipitaciones menores a 1 mm., muestran una variabilidad interanual a lo largo de la serie analizada. En Río Cuarto (Fig. 17), aunque no es muy marcada, se destacan valores máximos de treinta y nueve períodos secos, en dos años 1977 y 1998, y un mínimo de veinticinco períodos secos en el 2003.

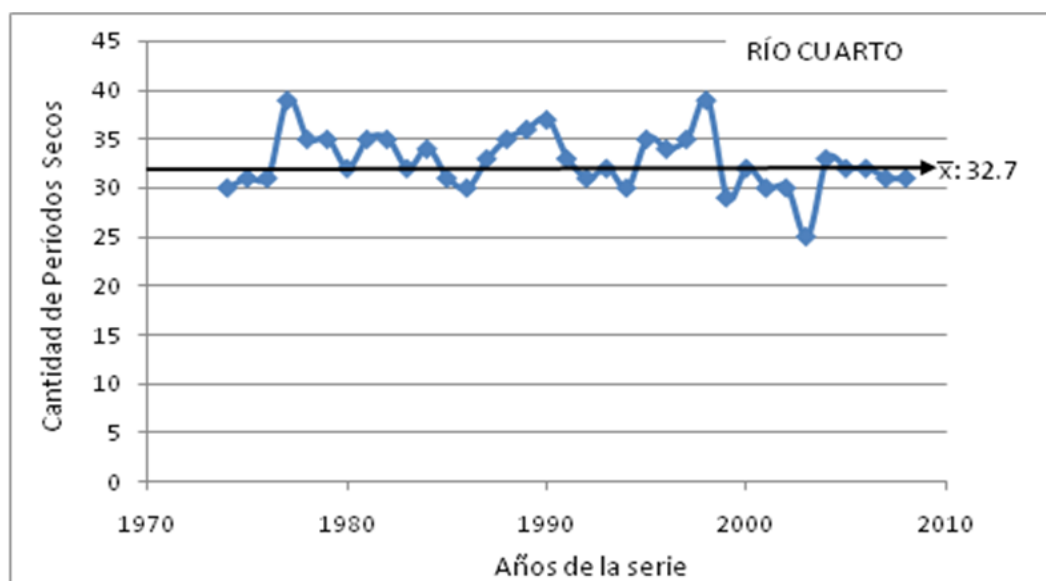


Fig. 17. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos totales por año.

En Manfredi (Fig. 18), se observa una situación similar al comportamiento en Río Cuarto con un máximo en la serie de treinta y dos períodos secos en los años 1977, 1990 y 1991 y un mínimo de veintidós períodos secos registrados en 1988 y 1999. En ambas localidades, se observa una disminución de la variabilidad a partir del año 1999 en el número de períodos secos totales por año.

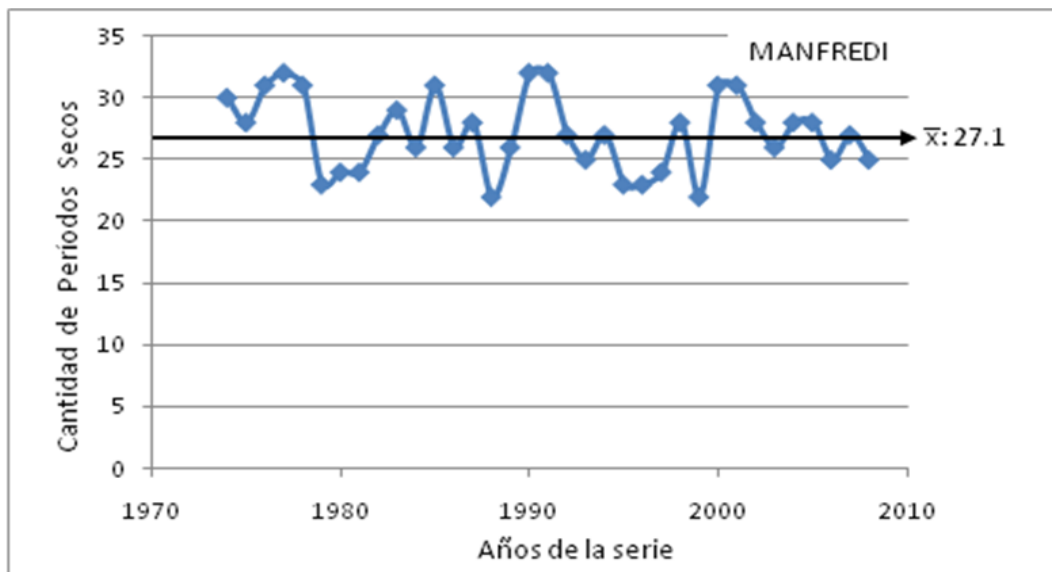


Fig. 18. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos totales por año.

Quando se analiza la duración de los períodos secos en la serie, considerando el más largo en cada año, se observan por ejemplo en Río Cuarto (Fig. 19) máximos de hasta noventa y cuatro días consecutivos en 1980 y mínimos de hasta veinte días en 1991

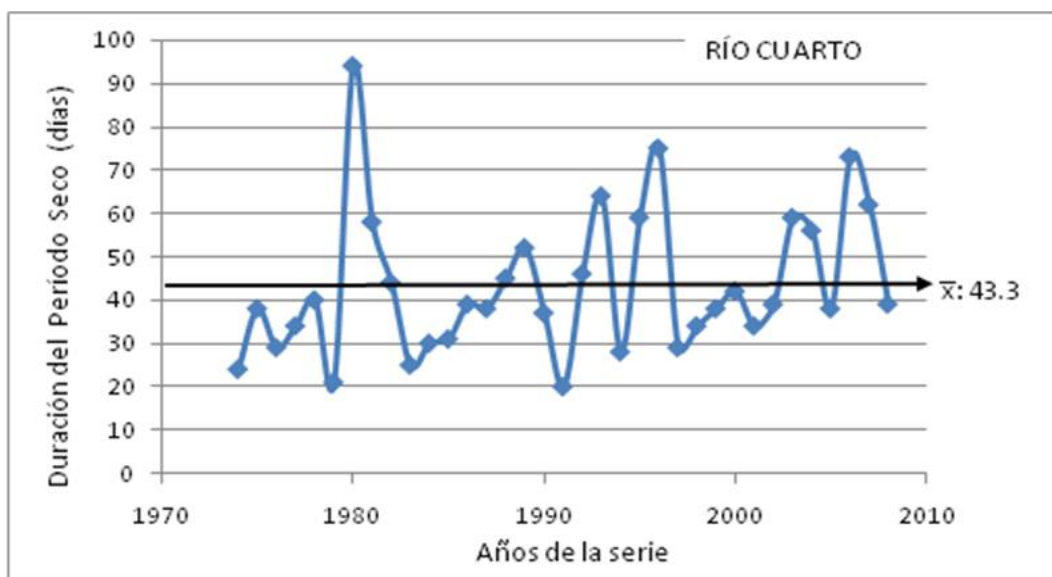


Fig. 19. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco por año.

Para la misma variable, en la Figura 20, correspondiente a Manfredi, se puede observar una mayor amplitud de las situaciones extremas que en Río Cuarto, llegando a

duraciones máximas de ciento treinta y tres días secos consecutivos y mínimas de veintiocho días en 1995 y 1977 respectivamente.

Cuando se comparan ambas localidades se observa que desde el año 1991 hasta el final de la serie en 2008 la duración del período seco va en aumento, mostrando, Manfredi las mayores duraciones en esos años.

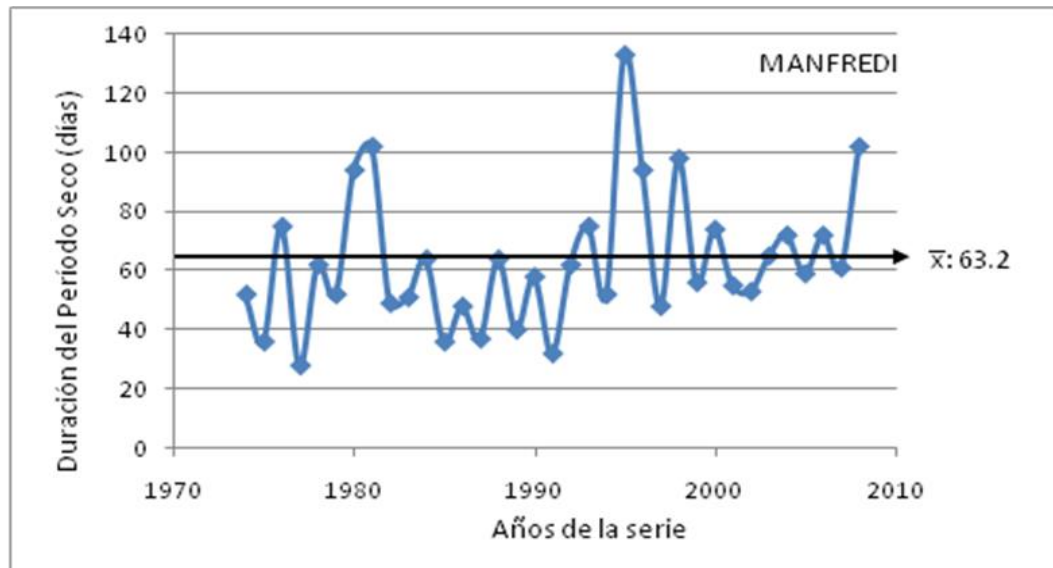


Fig. 20. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco por año.

Como los resultados anteriores no revelan el momento del año de ocurrencia de los períodos secos y de sus duraciones, se procedió a analizar la asociación de los mismos con las estaciones del año en ambas localidades. En el verano en Río Cuarto se observa que la cantidad de períodos secos muestra un máximo de catorce en 1990 y un mínimo de seis en 1992 (Fig. 21). A su vez es de destacar que aproximadamente desde 1982 hasta el 2000, el patrón de variabilidad de los períodos secos muestra la mayor amplitud o las situaciones más extremas.

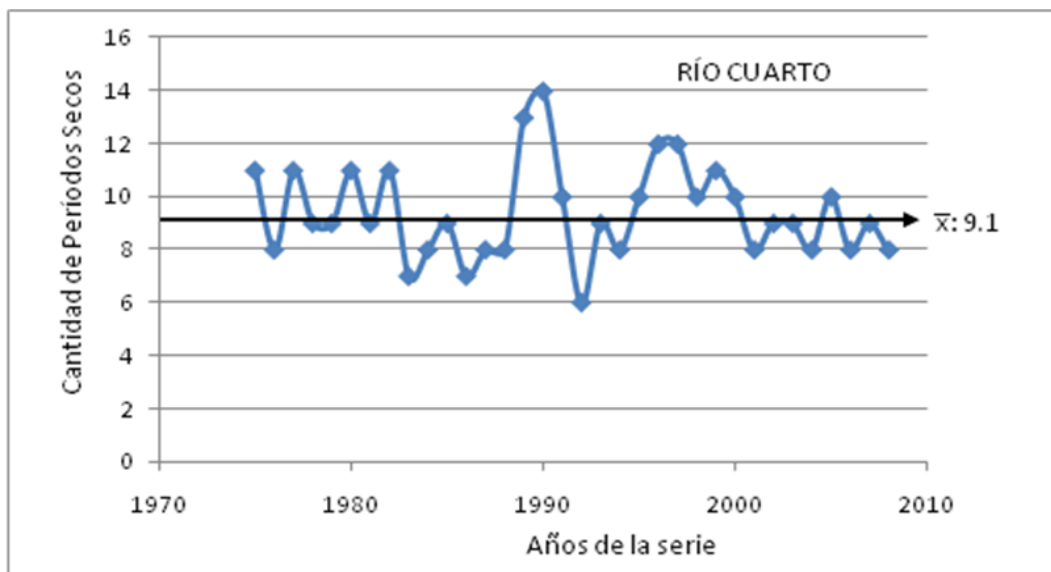


Fig. 21. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en verano.

En Manfredi (Fig. 22), se observan casos máximos de hasta trece períodos como en el año 1976 y mínimo de siete en 1980, variabilidad que revela un patrón sin grandes oscilaciones entre años.

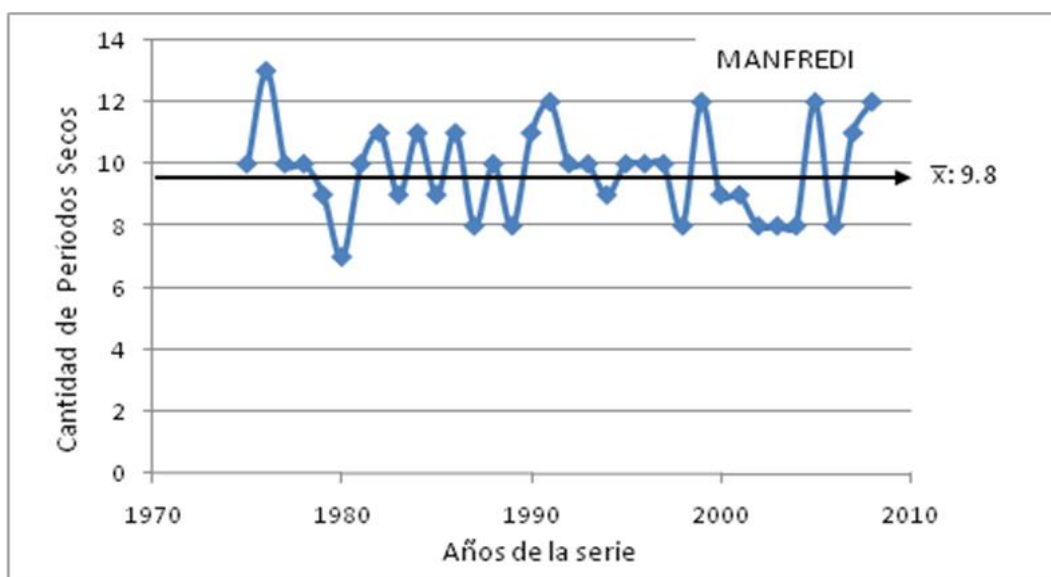


Fig. 22. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en verano.

Cuando se analizaron las duraciones de los períodos secos, en ambas localidades en el verano (Fig. 23, 24), los resultados mostraron una mayor amplitud respecto de la variabilidad de la cantidad de períodos secos.

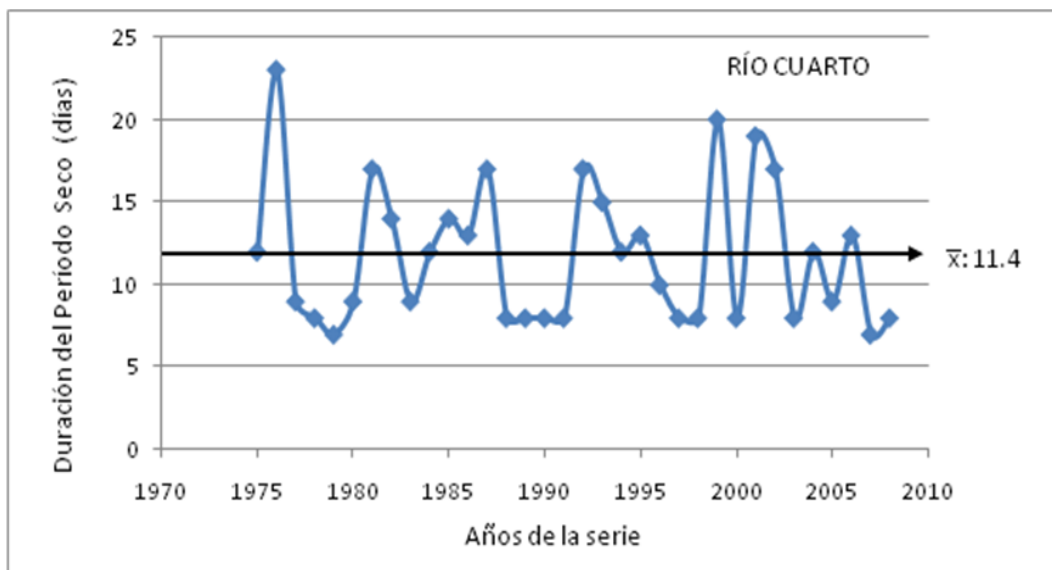


Fig. 23. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en verano.

En Río Cuarto los casos van de un mínimo de seis días en 1979, a un máximo de veintitres días de duración en 1976 y se observa una disminución de los períodos secos durante el verano en los últimos años.

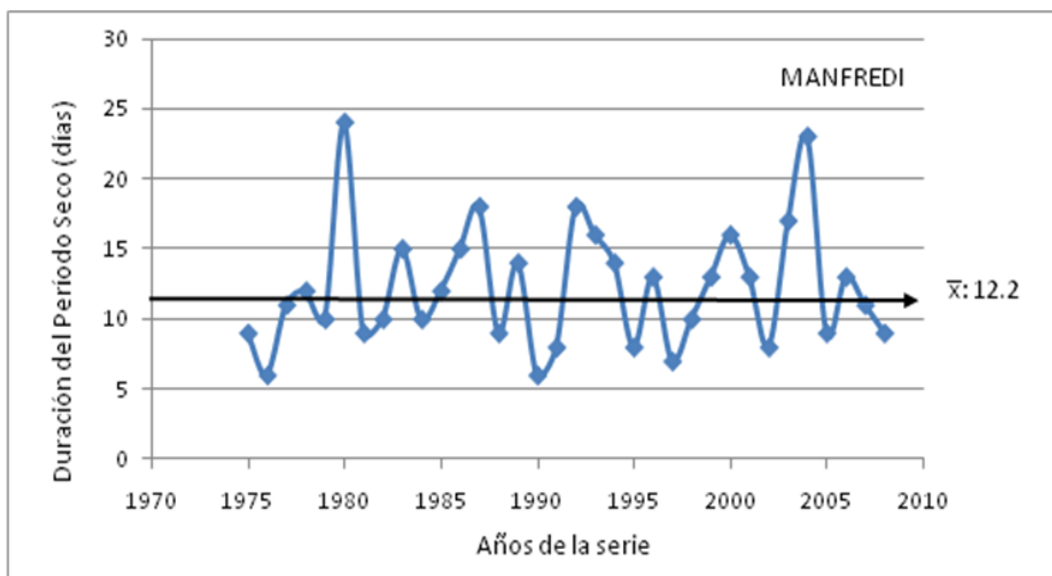


Fig. 24. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en verano.

En Manfredi oscilan entre mínimos de seis días (1976 y 1990) a un máximo de veinticuatro días en 1980.

En otoño, en Río Cuarto (Fig. 25) se observa que la cantidad de períodos secos denota un máximo de once períodos en el año 1981 y un mínimo de cinco períodos en 1997 y 2002.

A su vez se puede observa un aumento en la variabilidad de los períodos secos desde 1994 hasta el final de la serie en 2008.

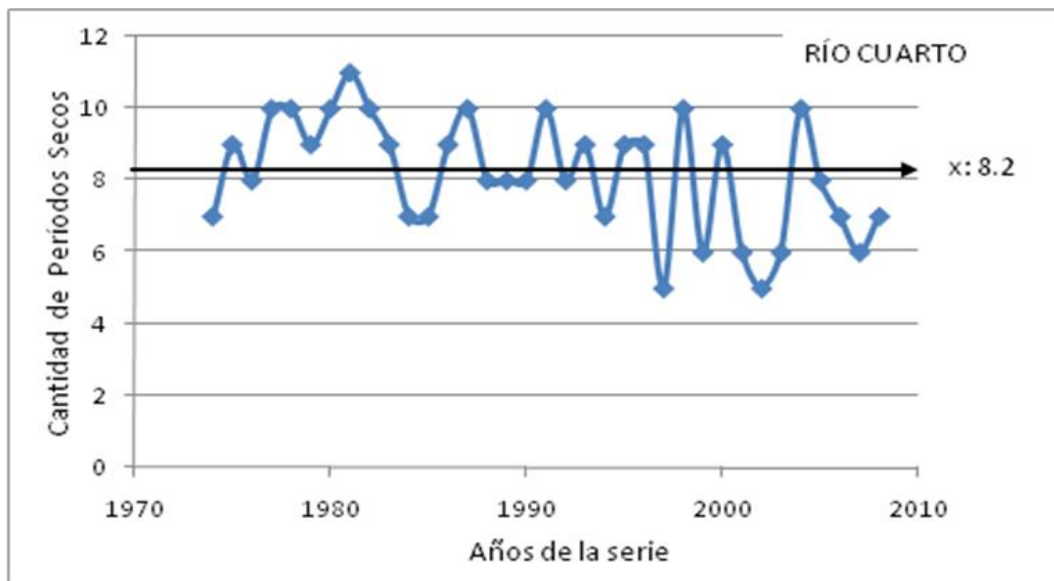


Fig. 25. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en otoño.

En Manfredi (Fig. 26), se puede observar que el patrón de variabilidad de la cantidad de períodos secos es mayor que en Río Cuarto, y muestra un máximo de once períodos en 2004 y tres casos de cinco períodos en 1978, 1988 y 1997.

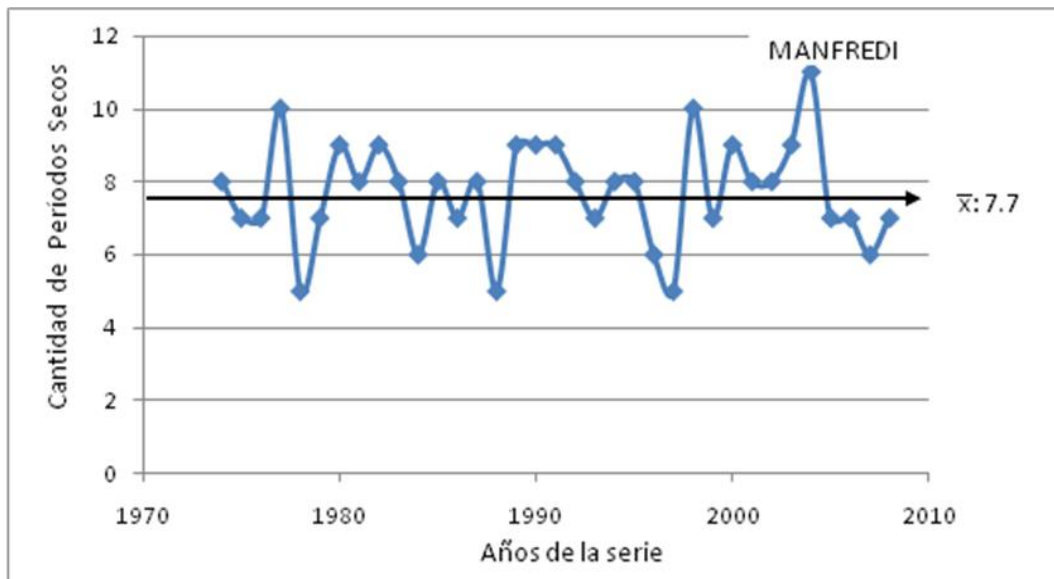


Fig. 26. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en otoño.

Cuando se analizaron las duraciones de los períodos secos, en el otoño (Fig. 27 y 28), encontramos una mayor variabilidad que en la cantidad de períodos secos.

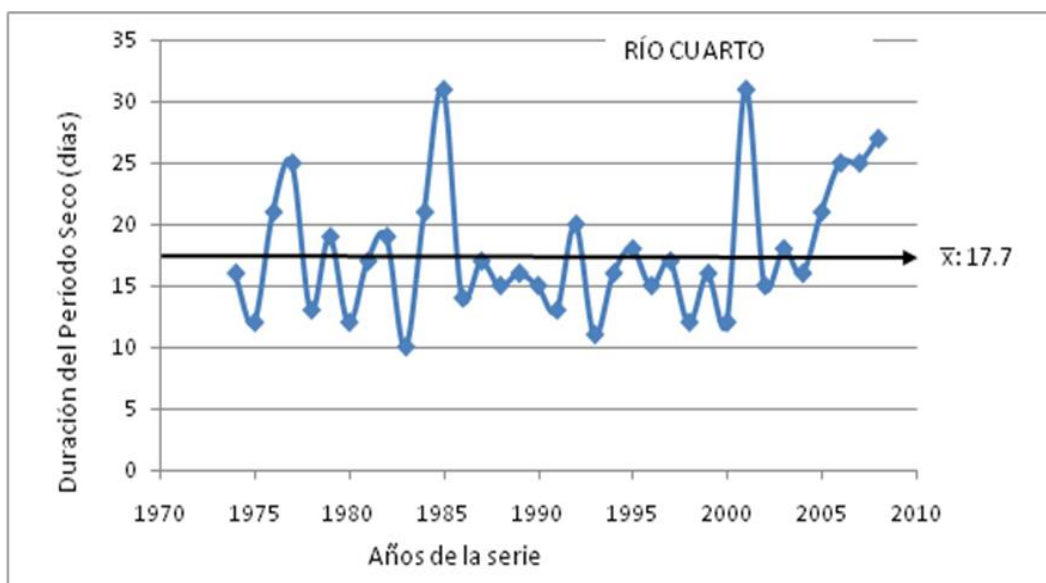


Fig. 27. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en otoño.

En Río Cuarto los casos van de un mínimo de diez días en 1983, a un máximo de treinta y un días en 1985 y 2001. En Manfredi oscilan entre un mínimo de once días en el año 2000 a un máximo de cuarenta y seis días en 1997 (Fig. 28)

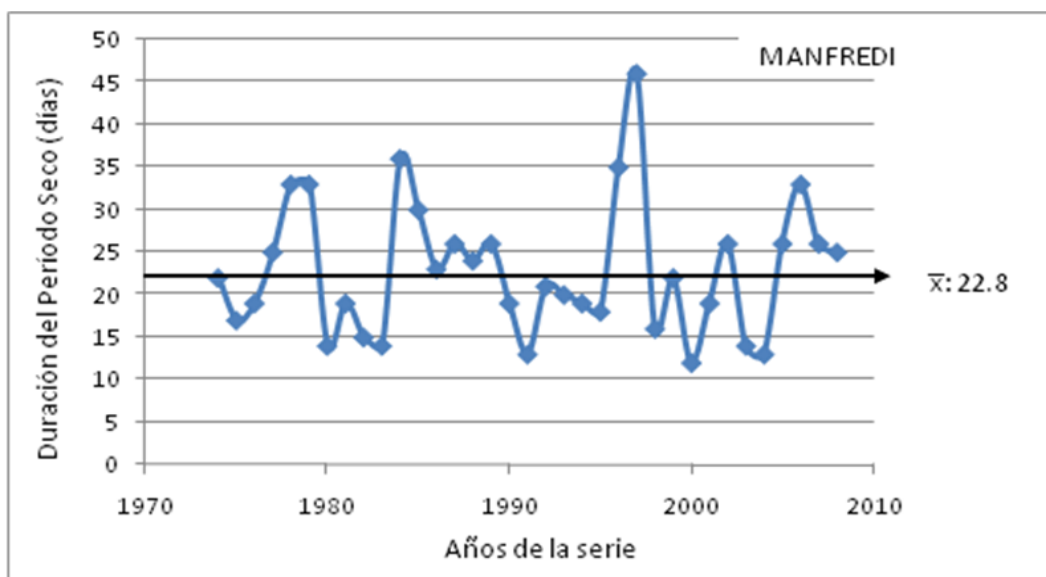


Fig. 28. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en otoño.

En invierno, en Río Cuarto (Fig. 29) la cantidad de períodos secos presenta valores máximos de nueve períodos en 1977 y valores mínimos de dos períodos en 1993 y 1996, mostrando a lo largo de toda la serie una significativa variabilidad.

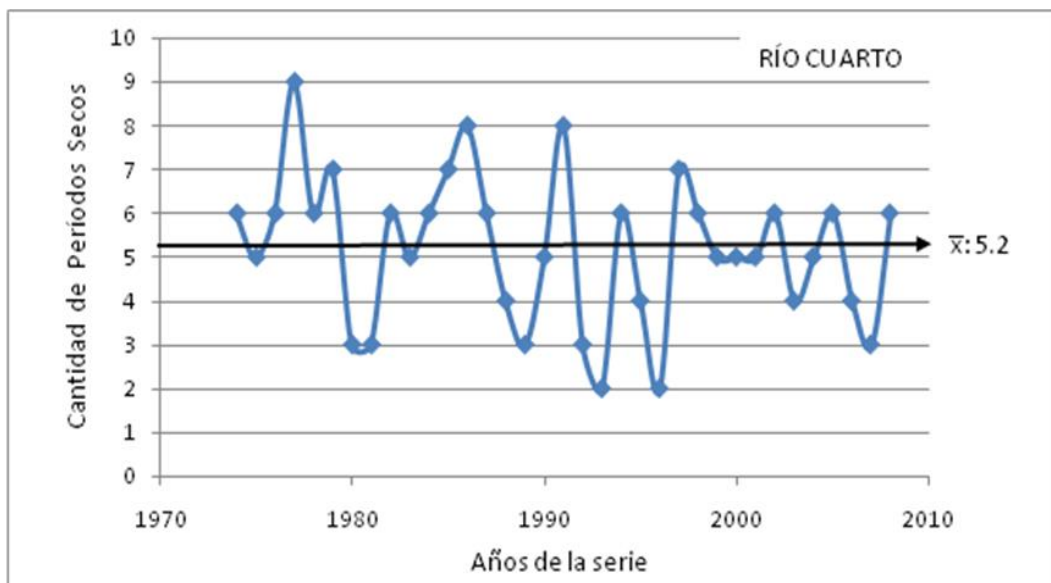


Fig. 29. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en invierno.

Manfredi (Fig. 30) muestra menor variabilidad interanual que Río Cuarto cuando se observa la cantidad de períodos secos en invierno, con un máximo de seis períodos en 1992 y valores mínimos de un período en 1981 y 1995.

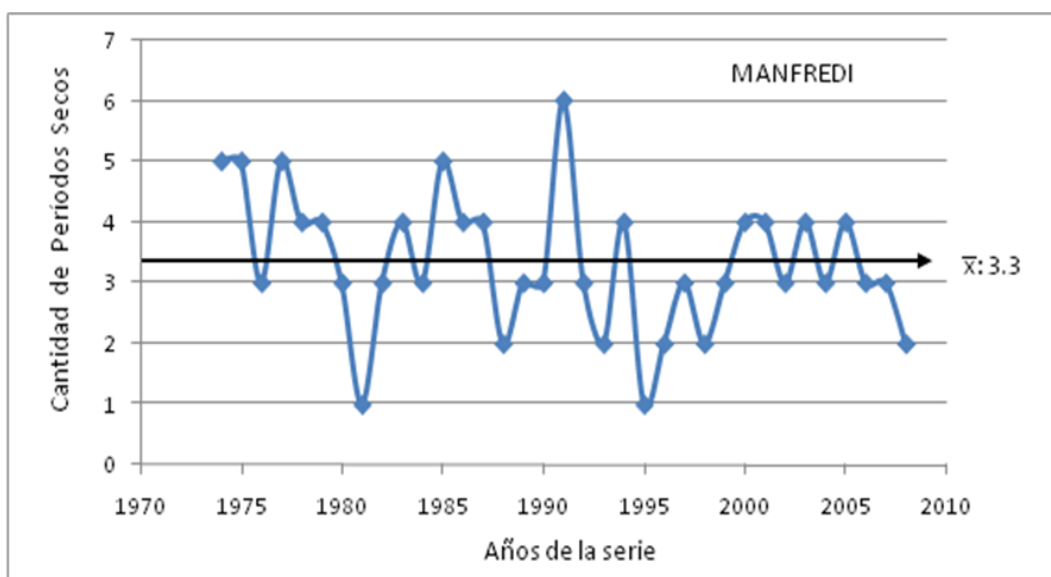


Fig. 30. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en invierno.

Respectos de las duraciones de los períodos secos en invierno, Río Cuarto (Fig. 31) presenta un valor máximo de setenta y cinco días en 1996 y un valor mínimo de quince días en 1991. Mientras que en Manfredi (Fig. 32) encontramos una mayor diferencia entre los valores extremos, con valores máximos de noventa y dos días en 1981 y 1995, y un valor

mínimo de veinticinco días en 1986. La media de la serie es además mucho mayor en Manfredi que en Río Cuarto.

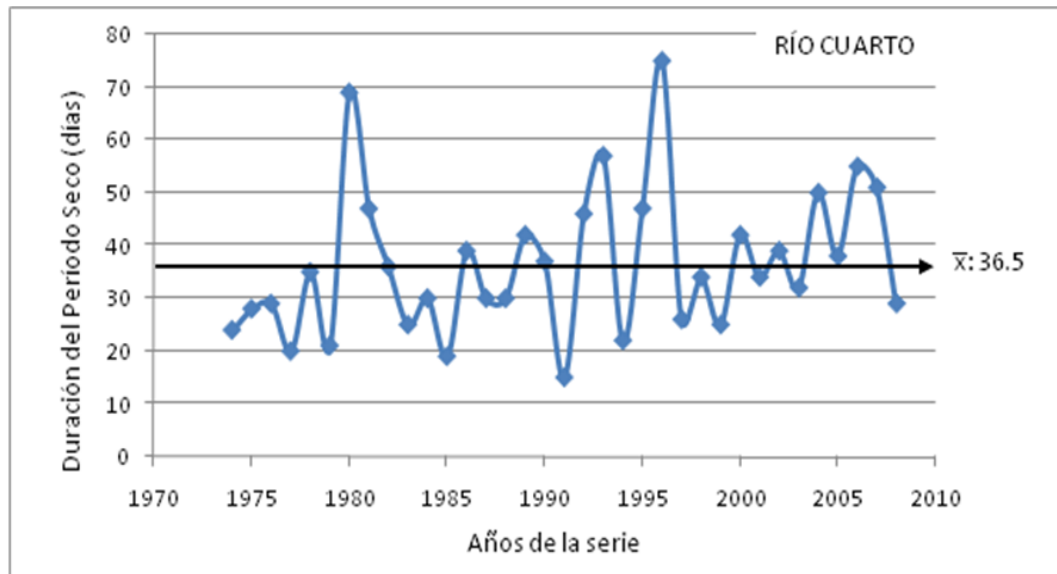


Fig. 31. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en invierno.

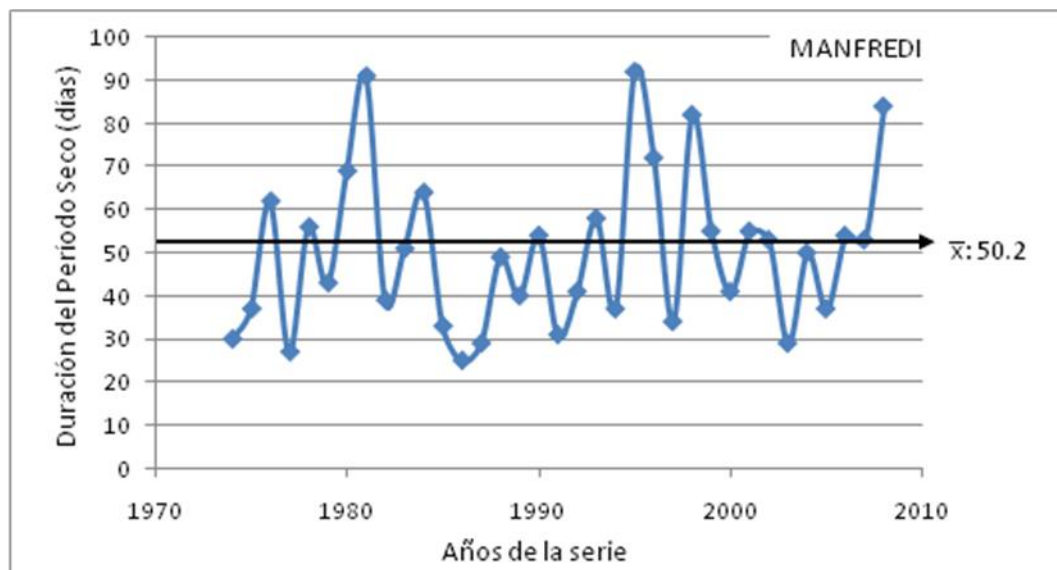


Fig. 32. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en invierno.

En Río Cuarto (Fig. 33), la cantidad de períodos secos en primavera oscila entre un mínimo de cuatro en 1986 y valores máximos de diez períodos en 1987, 1993 y 2006.

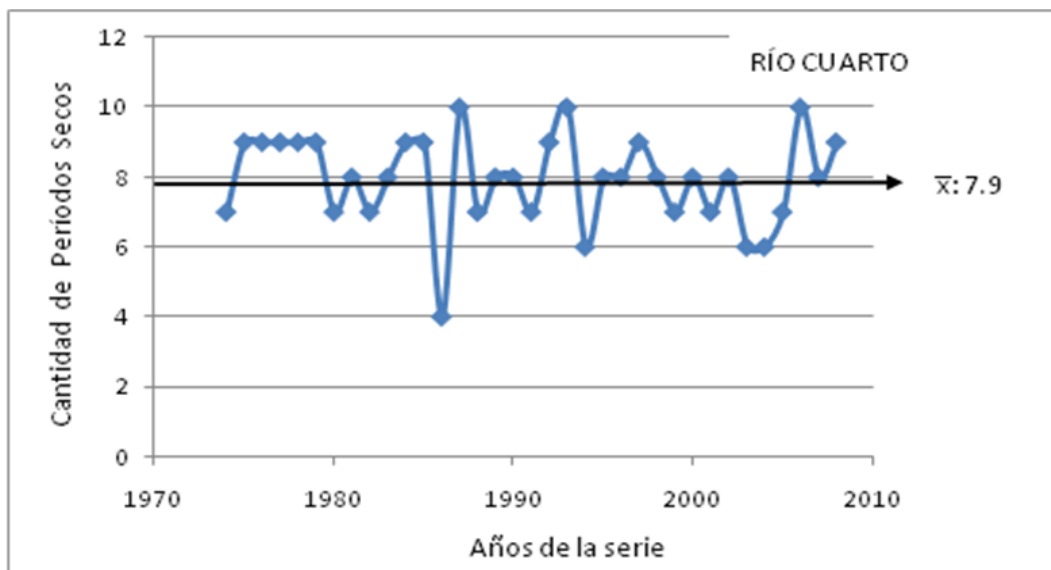


Fig. 33. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en primavera.

En Manfredi (Fig. 34), cuando se analizó la misma variable, el valor mínimo fue de cinco períodos en 1991 y 1999, y el valor máximo de once períodos en 1976 y 1990.

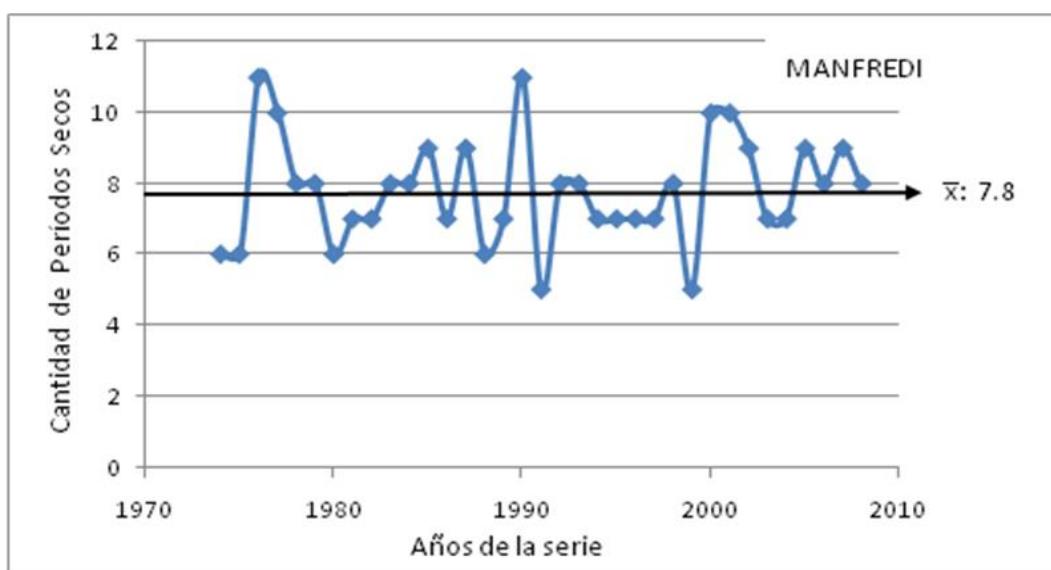


Fig. 34. Variabilidad interanual de la cantidad de períodos secos en primavera.

Cuando se analiza la duración de los períodos secos durante la primavera en Río Cuarto (Fig. 35) se observa un máximo de treinta y seis en 2004 y un mínimo de nueve días en 1985.

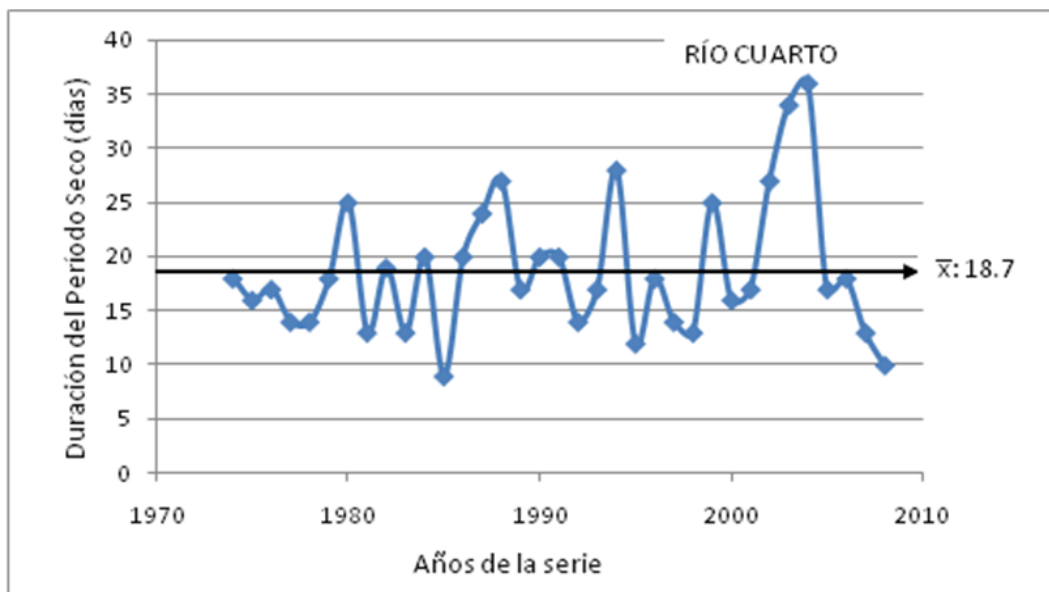


Fig. 35. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en primavera.

En Manfredi (Fig. 36) se observa una variabilidad mayor que oscila entre un máximo de treinta y siete días en 2004 y un mínimo de diez días en 2001.

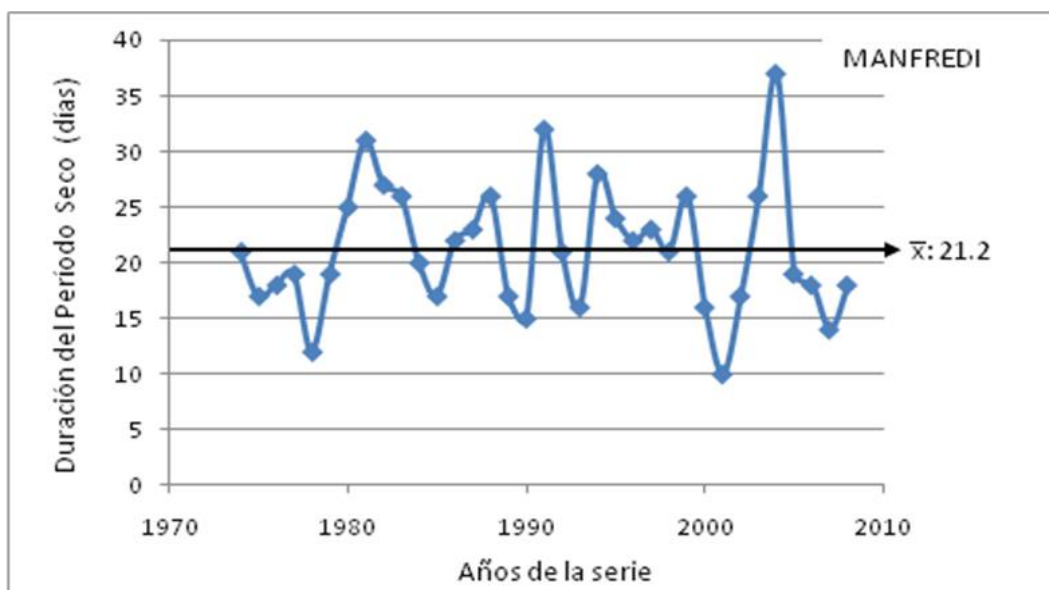


Fig. 36. Variabilidad interanual de la duración del mayor período seco en primavera.

Una síntesis de los patrones de variabilidad en relación con cantidad de períodos secos y duración máxima se presenta en el Cuadro 7. Las comparaciones se visualizan a través de respectivos parámetros estadísticos.

Cuadro 7. Parámetros estadísticos de los períodos secos con precipitaciones < a 1 mm. (\bar{X} : media de la serie; Mx: valor máximo en la serie; C.V.: coeficiente de variación)

Indicador	Descripción	Unidad	Período de Cómputo	Río Cuarto			Manfredi		
				\bar{X}	Mx	C.V.	\bar{X}	Mx	C.V.
Períodos secos	Precipitaciones < a 1 mm.	Cantidad	Año	32,7	39	8,8	27,1	32	11,2
			Verano	9,1	14	26,2	9,8	13	15,0
			Otoño	8,2	11	19,6	7,7	11	18,5
			Invierno	5,2	9	32,6	3,3	6	34
			Primavera	7,9	10	16,4	7,8	11	19,4
Períodos secos	Precipitaciones < a 1 mm.	Duración	Año	43,3	94	38,4	63,2	133	36,4
			Verano	11,4	23	40,7	12,2	24	35,7
			Otoño	17,7	31	30,2	22,8	46	34,2
			Invierno	36,5	75	37,7	50,2	92	36,3
			Primavera	18,7	36	34,2	21,2	37	27,2

Las comparaciones en este caso muestran que la mayor diferencia al analizar la cantidad de períodos secos, se observan en la media y en el máximo valor de la serie siendo mayor en el año y en las estaciones de otoño, invierno y primavera para Río Cuarto. Manfredi, en cambio denota la mayor variabilidad en el año y durante el invierno y la primavera.

Cuando se analiza la duración del período seco se observa que tanto los promedios, como los valores máximos de los índices para Manfredi muestra valores superiores a los respectivos para Río Cuarto en todos los casos, aunque este último tiene mayor variabilidad en el año y durante la primavera, el verano y el invierno.

2.2. Tendencia pluviométrica en la serie analizada

Cuadro 8. Tendencia y niveles de significación de los índices hídricos. (R^2 : coeficiente de determinación; b: pendiente de la curva; t: t de Student)

Indicador	Descripción	Lugar	R^2	b	t	Prob \geq t
Cantidad de períodos secos (totales/año)	Precipitaciones < 1mm.	Río Cuarto	0,0776	-0,07759	-1,66	0,1066
Cantidad de períodos secos (totales/año)	Precipitaciones < 1 mm.	Manfredi	0,0397	-0,05910	-1,17	0,2513
Cantidad de períodos secos (totales/otoño)	Precipitaciones < 1mm.	Río Cuarto	0,2178	-0,07311	-3,03	0,0047

El análisis de la tendencia de los índices de la cantidad de períodos secos totales por año en Río Cuarto y Manfredi, indican que las pendientes de la regresión para ambas localidades son negativas, aunque no significativas al nivel del 5% y menos al de 1%.

En cuanto a la cantidad de períodos secos totales durante el otoño en Río Cuarto, se observa una pendiente negativa significativa al nivel del 1%, lo que indicaría una tendencia de disminución de la cantidad de períodos secos en otoño, en la serie estudiada (1974-2008).

En las restantes estaciones del año no se observaron tendencias significativas.

CONCLUSIONES

El análisis del clima y de su variabilidad en el sur de Córdoba y en particular en dos áreas geográficas - Río Cuarto y Manfredi - permitió realizar una valoración de fenómenos que pueden afectar la producción agropecuaria. Los índices generados en el trabajo, resultaron buenos indicadores para evaluar el comportamiento de situaciones térmicas e hídricas, representadas por ondas de calor, ondas de frío y sequías. La variabilidad interanual de cada uno de estos fenómenos revela situaciones de riesgo permanente respecto de los mismos y de amenaza constante para la agricultura en la región, tanto por el frío extemporáneo, como por elevadas temperaturas o escasez de agua.

En la zona de Río Cuarto a partir del año 2000 se manifiesta un aumento respecto de la media, en la cantidad de ondas de calor por año con temperaturas diarias iguales o mayores a 30°C y 35°C, siendo estadísticamente significativa para temperaturas mayores o iguales a 30°C. En cuanto a la duración de las mismas, para el caso de temperaturas diarias iguales o mayores a 30°C también se registra un comportamiento de aumento para los últimos años. También la cantidad de días de calor totales por año, tanto para temperaturas diarias iguales o mayores a 30°C y 35°C, muestran una tendencia de aumento, más notable aún a partir del año 1999.

La cantidad anual de períodos fríos por año (temperaturas diarias iguales o menores a 15°C), revela un patrón de variabilidad estable a lo largo de toda la serie, con dos máximos, uno en el año 1991 y otro en 1993, que fueron destacables respecto de la media.

Los períodos secos por año en la serie analizada, muestran una disminución de la variabilidad desde el año 1999 hasta la finalización de la serie. Sin embargo esta disminución se ve compensada con un aumento de la duración de los mismos a partir del año 1991. La mayor duración de los períodos secos se asocia a las estaciones invierno, primavera y otoño respectivamente. En el verano, las longitudes de períodos secos muestran una disminución en los últimos años.

En el área de Manfredi a diferencia de Río Cuarto, la cantidad de ondas de calor por año con temperaturas diarias iguales o mayores a 30°C, muestran un patrón de variabilidad regular a lo largo de toda la serie analizada. La duración de las ondas de calor disminuyen desde el año 1990 en adelante. La cantidad de días de calor totales por año iguales o superiores a 30°C no presenta una variabilidad tan destacada como cuando se analizan aquellos con las temperaturas iguales o mayores a 35°C, los que denotan una gran variabilidad interanual. La cantidad de períodos fríos en esta zona revelaron un leve aumento a partir de los años 90.

La cantidad de períodos secos por año muestran una disminución de la variabilidad desde el año 2000 en adelante, mientras que la duración de los períodos, como en el caso de

Río Cuarto, revela un aumento desde el año 1991, con valores extremos que llegaron hasta ciento treinta y tres días. El invierno se destaca por una gran amplitud en la variabilidad de la cantidad de períodos secos.

A manera de síntesis resulta, que la cantidad y duración de los períodos de calor para ambas localidades y niveles térmicos se registran en el verano. En el año, los promedios de ocurrencia y los máximos, tanto de la cantidad como de la duración de períodos de calor son similares entre ambas localidades, con valores de veintiún períodos y de dieciséis días de duración para Río Cuarto, mientras que para Manfredi fue respectivamente de veinte períodos y de dieciocho días de duración para el umbral de temperaturas iguales o mayores a 30°C.

La duración de los períodos secos, revela mayores promedios y valores máximos en Manfredi que en Río Cuarto, tanto para el año como para cada una de las estaciones. En Río Cuarto la variabilidad es mayor en el año y durante primavera, verano e invierno.

Considerando lo expuesto surge que la hipótesis planteada al comienzo del presente trabajo ha sido comprobada, ya que a partir de la utilización de índices agrometeorológicos pudieron obtenerse una serie de patrones climáticos de comportamiento de eventos de riesgo para la agricultura.

La aplicación del conocimiento generado puede ser de utilidad para la realización de nuevos estudios como para contribuir con el manejo de la producción agropecuaria frente a las variaciones climáticas producto de fenómenos aún desconocidos. Si bien los resultados obtenidos no constituyen un pronóstico de escenarios futuros del clima y de su variabilidad en cuanto a los fenómenos estudiados, el conocimiento de la ocurrencia, frecuencia y amplitud de los mismos en el presente, permite alertar sobre la necesidad de estar preparados para disminuir el impacto de esas ocurrencias sobre la producción agropecuaria.

BIBLIOGRAFÍA

- BAEDE, A. P. M. 2007. Climate change 2007. **The physical Science Basis of Climate Change**. Annex 1. Glossary. p: 945.
- ESCOBAR, N. R. y Q. C. DELGADO. 2007. Desastre: más de 20 años de inundaciones. Diario El Deber. Santa Cruz. En: <http://www.premioreportaje.org/article.sub?docId=25123&c=Bolivia&cRef=Bolivia&year=2007&date=febrero%202007>. Consultado: 18-02-2013.
- GEER, I. W. 1996. Glossary of Weather and Climate with related oceanic and hydrologic terms. **American Meteorological Society**, Boston, MA. 272pp.
- GRUMM, R. H. 2011. The Central European and Russian heat event of July-August 2010. **BAMS**:1285-1296.
- HEWITT, K. y I. BURTON. 1971. The hazardousness of a place: a regional ecology of damaging events. Toronto. University of Toronto.
- IPCC. 2001. IPCC Summary for policymakers Working Group II. En: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm. Mayo 2007. Consultado: 27-11-09.
- IPCC-WGI. 2007. Summary for Policymakers. En: 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., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L., (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., Barros, V., Stocker, B., Qin, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M., and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 582pp.
- KIM. J. Y. 2012. Bajemos la Temperatura. Potsdam Institute for Climate Impact Research y Climate Analytics para el Banco Mundial. Washington, E.E.U.U.
- JONES, R., y R. BOER. 2005. Assessing current climate risks. *En Adaptation Policy Frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures*. Bo Lim and Spanger-Siegfried Editores. UNEP y GEF, Cambridge University Press, USA Technical Paper N°4. 26 pág.
- KAROBY, D. 2009. Los incendios forestales y el calor extremo en el sureste de Australia. En: <http://www.globalizate.org/realc010309.html>. Consulta: 18-02-2013.

- LA ONDA VERDE DE N.R.D.C. 2008. Calentamiento global. En: w.w.w.nrdc.org/laondaverde/globalwarming/fcons.asp. Consultado: 18-02-2013.
- MOONEN, A.C., L. ERCOLI, M. MARIOTTI, y A. MASONI. 2002. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. **Agricultural and Forest Meteorology**, 111: 13-27.
- MOSCHINI, R.C., G. CASAGRANDE, G. VERGARA y H. A. CONTI. 1997. Efectos del ENSO sobre las probabilidades de periodos secos derivadas de modelos Markovianos de primer orden, en La Pampa. **Revista de la Facultad de Agronomía**, 17(1): 71-76.
- NETER, J. y W. WASSERMAN. 1974. **Applied linear statistical models**. Homewood, IL: Richard D. Irwin, Inc. 842. pp.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). 2001. Tiempo, clima y seguridad alimentaria. **Publicación OMM-N° 933**.
- PASCALE, A. J. y E. A. DAMARIO. 1993/94. Tendencia de la amplitud térmica diaria en la Argentina desde 1901 hasta 1990. **Revista de la Facultad de Agronomía**, 14(2): 127-138.
- PITTALUGA, G. 2005. La problemática del cambio climático: algunos aspectos globales y el potencial impacto sobre la producción agropecuaria mundial. **Apuntes Agroeconómicos**. Año 3- N°4. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. En: http://www.agro.uba.ar/apuntes/no_4/clima.htm. Consultado: 17/01/2013.
- RAFAEL, R. 2007. Los efectos del cambio climático. En: http://www.diariocordoba.com/noticias/cordobalocal/los-efectos-del-cambio-climatico-en-cordoba_314778.html. Consultado: 15-03-2012.
- RAHMSTORF, S. y D. COUMOU. 2011. Increase of extreme events in a warming world. En: <http://www.pnas.org/content/108/44/17905>. Consultado: 01-07-2012.
- ROTONDO, V. y R. A. SEILER. 2001. Red Agrometeorológica, mediciones y representatividad espacial para la caracterización del clima regional: un caso de estudio para el sur de Córdoba. **Rev. Arg. de Agrometeorología**, 1(2): 95-99.
- SANCHEZ, D. E. 2010. La escasez de agua en el mundo: problemas presentes y futuros. En: <http://lasequiaenelmundo.blogspot.com.ar/>. Consultado: 17/01/2013.
- SEILER, R. A., R. FABRICIUS, V. ROTONDO y M. VINOCUR. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto-1974/93, Vol. I. UNRC. 68 pgs.
- SEILER, R. A. 2012. La sequía 2011-2012: una combinación devastadora causada por dos fenómenos simultáneos. Río Cuarto. Seminario Sequía 2011-2012, Un análisis multidisciplinario (Res CD FAyV No. 036/2012).
- SIERRA, E.M., R.H. HURTADO y L. SPESCHA. 1993/94. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana 1941-1990. **Revista de la Facultad de Agronomía**, 14(2): 139-144.

- THOM, H. C. S. 1996. Some methods of climatological análisis. **WMO Technical Note N° 81**, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 53pp.
- WEHBE, M., H. EAKIN, R.A. SEILER, M. G. VINOCUR, C. AVILA y C. MAURUTTO. 2007. Local Perspectives on Adaptation to climate change. Lessons from Mexico and Argentina. In **Climate change and adaptation**, Chap. 18. Leary, N., J. Adejuwon, V. Barros, I. Burton, J. Kulkarni y R. Lasco (eds.). EarthScan-London-Sterling, VA. 432pp.