



**Universidad  
Nacional  
Villa María**

**Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo A. Podestá"**  
Repositorio Institucional

# **Estudio de extremos de precipitación y temperatura en la zona centro-sur de Córdoba en base a índices del conjunto CLIMDEX**

---

---

Año  
2021

Autoras  
Romero, Ana Lucía y Ritta, Florencia  
Natali

Directores de tesis  
Forgioni, Fernando Primo y Müller,  
Gabriela Viviana,

Este documento está disponible para su consulta y descarga en el portal on line de la Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo Alberto Podestá", en el Repositorio Institucional de la **Universidad Nacional de Villa María**.

#### CITA SUGERIDA

Romero, A. L. y Ritta, F. N. (2021). *Estudio de extremos de precipitación y temperatura en la zona centro-sur de Córdoba en base a índices del conjunto CLIMDEX*. Villa María: Universidad Nacional Villa María



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional



# **Universidad Nacional De Villa María**

**Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y  
Aplicadas**

**Trabajo Final de Grado para optar al título de Licenciadas  
en Ambiente Y Energías Renovables**

**Estudio de extremos de precipitación y  
temperatura en la zona centro-sur de Córdoba en  
base a índices del conjunto CLIMDEX**

## **Autoras**

Ana Lucía Romero

Florencia Natali Ritta

## **Director**

Ing. Agr. Fernando Primo Forgioni

## **Co-directora**

Dra. Gabriela Viviana Müller

Villa María – Córdoba

Diciembre 2021

**ESTUDIO DE EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA  
EN LA ZONA CENTRO-SUR DE CÓRDOBA EN BASE A ÍNDICES  
DEL CONJUNTO CLIMDEX**

# Universidad Nacional de Villa María

## IAP Ciencias Básicas y Aplicadas

Título del Trabajo Final de Grado: ESTUDIO DE EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA ZONA CENTRO-SUR DE CÓRDOBA EN BASE A ÍNDICES DEL CONJUNTO CLIMDEX

Autoras: Ana Lucía Romero y Florencia Natali Ritta

Director: Ing. Arg. Fernando Primo Forgioni

Co-directora: Dra. Gabriela Viviana Müller

***Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Tribunal evaluador (Art. Nº 15, Res. Nº 48/2000 del Consejo Superior)***

_____	_____
<b>Nombre y apellido</b>	<b>Firma</b>
_____	_____
<b>Nombre y apellido</b>	<b>Firma</b>
_____	_____
<b>Nombre y apellido</b>	<b>Firma</b>

***Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Asesor (Art. Nº 2, Res. 77/2006 del Consejo Directivo IAP Ciencias Básicas y Aplicadas)***

_____	_____
<b>Nombre y apellido</b>	<b>Firma</b>

**Lugar y fecha de aprobación:**

# **Universidad Nacional De Villa María**

**Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y  
Aplicadas**

**Trabajo Final de Grado para optar al título de Licenciadas  
en Ambiente Y Energías Renovables**

**Estudio de extremos de precipitación y  
temperatura en la zona centro-sur de Córdoba en  
base a índices del conjunto CLIMDEX**

## **Autoras**

Ana Lucía Romero

Florencia Natali Ritta

## **Director**

Ing. Agr. Fernando Primo Forgioni

## **Co-directora**

Dra. Gabriela Viviana Müller

Villa María – Córdoba

Diciembre 2021

## **DEDICATORIA**

A todos aquellos que sufren y han perdido por nuestra decisión contra el planeta. A todos aquellos que luchan por un mundo más coherente.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros padres, por permitirnos y motivarnos a estudiar, transmitiéndonos la importancia de la perseverancia y constancia para lograr nuestras metas.

A nuestras familias por estar presentes y acompañarnos en cada logro.

A Dios por guiar nuestros pasos y ser nuestro amparo.

A nuestros amigos y compañeros por compartir mates, horas de estudio, charlas, risas, llantos y apoyarnos mutuamente a lo largo de los años.

A Fernando Forgioni, nuestro director, por su paciencia, comprensión y compromiso para dirigirnos; por motivarnos a dar lo mejor de nosotras sin olvidarnos de que somos humanas.

A Gabriela Müller, nuestra co-directora, por ser referente e inspiración para nosotras.

A nuestros profesores de la carrera por incentivar la construcción de nuestros conocimientos y pensamiento crítico.

A cada una de las personas importantes que fue parte de este lindo camino, a ellas, muchas gracias.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN .....	3
3. OBJETIVOS .....	4
3.1. Objetivo General.....	4
3.2. Objetivos Específicos .....	4
4. METODOLOGÍA.....	5
4.1. Delimitación del área de estudio .....	5
4.2. Reunión de información y consistencia de datos .....	7
4.3. Análisis de datos .....	12
4.3.1. Índices de precipitación.....	12
4.3.2. Índices de temperatura.....	12
4.4. Análisis de correlación .....	13
4.4.1 Marcos Juárez Aero .....	13
4.4.2 Localidad Pilar .....	13
4.4.3 Río Cuarto Aero.....	14
5. RESULTADOS .....	17
5.1 Análisis de índices de extremos.....	17
5.1.1 Índices de temperatura.....	17
5.1.1.1 Noches tropicales (TR).....	17
5.1.1.1.1 Marcos Juárez Aero .....	17
5.1.1.1.2 Pilar Observatorio.....	18
5.1.1.1.3 Río Cuarto Aero .....	20
5.1.1.2 Olas de calor (WSDI) .....	21
5.1.1.2.1 Marcos Juárez Aero .....	21
5.1.1.2.2 Pilar Observatorio.....	22
5.1.1.2.3 Río Cuarto Aero .....	24
5.1.2 Índices de Precipitaciones.....	25
5.1.2.1 Rx1 .....	25
5.1.2.1.1 Marcos Juárez Aero .....	25
5.1.2.1.2 Pilar Observatorio.....	26
5.1.2.1.3 Río Cuarto Aero .....	27
5.1.2.2 R95pT.....	28
5.1.2.2.1 Marcos Juárez Aero .....	28
5.1.2.2.2 Pilar Observatorio.....	29
5.1.2.2.3 Río Cuarto Aero .....	29
5.2 Ploteo mediante reanálisis NCEP NCAR de eventos seleccionados .....	30
5.2.1 Rx1 Marcos Juárez Aero – 2002.....	30

5.2.2 Rx1 Pilar – 2004 .....	33
5.2.3 Rx1 Río cuarto – 2001 .....	36
5.2.4 R59pT Marcos Juárez – 1990 .....	38
5.2.5 R59pT Pilar – 1992 .....	38
5.2.6 R59pT Río Cuarto – 1999 .....	40
5.3 Análisis de correlación .....	41
5.3.1 Marcos Juárez Aero .....	41
5.3.2 Pilar Obs.....	41
5.3.3 Río Cuarto Aero .....	42
5.4 Proyecciones a Futuro .....	46
6. CONCLUSIONES.....	49
7. CONSIDERACIONES FINALES .....	50
8. REFERENCIAS.....	51
9. ANEXO .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa del área de estudio. Fuente: Elaboración propia. Google Earth, 2021 .....	5
Figura 2.	Climograma de la localidad de Marcos Juárez. Fuente: Elaboración propia, tomando los datos de SMN.....	6
Figura 3.	Climograma de la localidad de Pilar. Fuente: Elaboración propia, tomando los datos de SMN.....	6
Figura 4.	Climograma de la localidad de Río Cuarto. Fuente: Elaboración propia, tomando los datos de SMN.....	7
Figura 5.	Correlación Tmax entre estación patrón (Pilas Obs) y Río Cuarto Aero, valor de ajuste sobre la esquina superior derecha ( $R = 0,98$ ).....	9
Figura 6.	Correlación Tmax entre estación patrón (Pilas Obs) y Marcos Juárez Aero, valor de ajuste sobre la esquina superior derecha ( $R = 0,97$ ).....	9
Figura 7.	Correlación Tmin entre estación patrón (Pilas Obs) y Río Cuarto Aero, valor de ajuste sobre la esquina superior derecha ( $R = 0,98$ ).....	10
Figura 8.	Correlación Tmin entre estación patrón (Pilas Obs) y Marcos Juárez Aero, valor de ajuste sobre la esquina superior derecha ( $R = 0,96$ ).....	10
Figura 9.	Valores de precipitación para la estación de Pilar Obs. Curva roja corresponde al gráfico con tendencia y la azul al gráfico sin tendencia para los meses de D-E-F. ....	14
Figura 10.	Valores de precipitación para la estación de Pilar Obs. Curva roja corresponde al gráfico con tendencia y la curva azul al gráfico sin tendencia para los meses de S-O-N. ....	14
Figura 11.	Valores de precipitación para la estación de Río Cuarto Aero. Curva roja corresponde al gráfico con tendencia y la curva azul al gráfico sin tendencia para los meses de D-E-F.....	15
Figura 12.	Valores de precipitación para la estación de Río Cuarto Aero. Curva roja corresponde al gráfico con tendencia y la curva azul al gráfico sin tendencia para los meses de S-O-N. ....	15
Figura 13.	Número de eventos por década 1960-2018 (línea violeta) y línea de tendencia (puntos).....	17
Figura 14.	Distribución de eventos TR y temperatura máxima inferior registrada (mínima) durante los años 1980 y 1989.....	18
Figura 15.	Distribución de eventos TR y temperatura máxima inferior registrada (mínima) durante los años 2010 a 2018.....	18
Figura 16.	Número de eventos por década 1960-2018 (línea violeta) y línea de tendencia (puntos).....	19
Figura 17.	Distribución de eventos TR y temperatura máxima inferior registrada (mínima) durante los años 2000 a 2010.....	19
Figura 18.	Número de eventos por década 1960-2018 (línea violeta) y línea de tendencia (puntos).....	20
Figura 19.	Distribución de eventos TR y temperatura máxima inferior registrada (mínima) durante los años 2010 a 2018.....	21
Figura 20.	Cantidad de eventos de WSDI por década (1960-2018). ....	21
Figura 21.	Distribución de Tmax durante los años 1960 y 2010. ....	22
Figura 22.	Distribución de Tmin durante los años 1960 y 2010. ....	22
Figura 23.	Cantidad de eventos de WSDI por década (1960-2018). ....	23

Figura 24.	Distribución de T <sub>máx</sub> durante los años 1960 y 2010. ....	23
Figura 25.	Distribución de T <sub>min</sub> durante los años 1960 y 2010. ....	24
Figura 26.	Cantidad de eventos de WSDI por década (1960-2018). ....	24
Figura 27.	Distribución de T <sub>máx</sub> durante los años 1960 y 2010. ....	25
Figura 28.	Distribución de T <sub>min</sub> durante los años 1960 y 2010. ....	25
Figura 29.	Comportamiento de eventos de precipitación máxima diaria Rx1 (línea verde) y línea de tendencia para el periodo 1960-2018. ....	26
Figura 30.	Comportamiento de eventos de precipitación máxima diaria Rx1 (línea verde) y línea de tendencia para el periodo 1960-2018. ....	27
Figura 31.	Comportamiento de eventos de precipitación máxima diaria Rx1 (línea verde) y línea de tendencia para el periodo 1960-2018. ....	28
Figura 32.	Número de eventos para R95pT por año (1960-2018). ....	29
Figura 33.	Número de eventos para R95pT por año (1960-2018). ....	29
Figura 34.	Número de eventos para R95pT por año (1960-2018). ....	30
Figura 35.	Ploteo correspondiente a anomalías de altura geopotencial en 500 milibares (mb). Mes de noviembre, año 2002 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	31
Figura 36.	Ploteo correspondiente a anomalías de altura geopotencial en 500 milibares (mb). Región de Sudamérica. Mes de noviembre, año 2002 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	31
Figura 37.	Ploteo correspondiente a anomalías de radiación de onda larga (OLR) en 700 milibares (mb). Región de Sudamérica. Mes de noviembre, año 2002 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	32
Figura 38.	Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500 milibares (mb). Mes de diciembre, año 2004 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	33
Figura 39.	Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500 milibares (mb). Hemisferio Sur. Mes de diciembre, año 2004 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	34
Figura 40.	Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500 milibares (mb). Mes de diciembre, año 2004, con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	34
Figura 41.	Ploteo correspondiente a anomalías de Omega ( $\Omega$ ) en 700mb. Sudamérica. Mes de diciembre, año 2004 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	35
Figura 42.	Ploteo correspondiente a anomalías de la componente del viento meridional en 1000 mb. Sudamérica. Mes de diciembre año 2004 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	36
Figura 43.	Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500mb. Mes de diciembre, año 2001, con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	37
Figura 44.	Ploteo correspondiente a anomalías de Omega ( $\Omega$ ) en 700mb. Sudamérica. Mes de diciembre, año 2001 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	37
Figura 45.	Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500mb. Año 1990 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	38
Figura 46.	Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500mb. Mes de noviembre, año 1992 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	39
Figura 47.	Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500mb. Mes de noviembre año 1992 con respecto a promedio climatológico 1981-2010. ....	39

Figura 48.	Ploteo correspondiente a anomalias de Omega ( $\Omega$ ) en 700mb. Mes de noviembre año 1992 con respecto a promedio climatologico 1981-2010 .....	40
Figura 49.	Ploteo correspondiente a anomalias de geopotencial en 500mb . Mes de noviembre año 1992 con respecto a promedio climatologico 1981-2010 .....	41
Figura 50.	Ploteo correspondiente a correlacion entre geopotencial en 300mb e indice ONI para el periodo SON. Para el periodo 1987-2018 .....	44
Figura 51.	Ploteo correspondiente a correlacion entre geopotencial en 300mb e indice SAM para el periodo DEF. Para el periodo 1987-2018.....	44
Figura 52.	Ploteo correspondiente a correlacion entre OLR en 700mb e indice ONI para el periodo SON. Para el periodo 1987-2018.....	45
Figura 53.	Ploteo correspondiente a correlacion entre $\Omega$ en 500mb e indice SAM para el periodo SON. Para el periodo 1987-2018 .....	45
Figura 54.	RX1 Futuro cercano y lejano. Escenario de emisiones SSP 2.6. Fuente: Elaboración propia en base a IPCC, 2021 .....	46
Figura 55.	RX1 Futuro lejano y cercano. Escenario de emisiones SSP 8.5. Fuente: Elaboración propia en base a IPCC, 2021 .....	47
Figura 56.	TX40 Futuro lejano y cercano. Escenario de emisiones SSP 2.6. Fuente: Elaboración propia en base a IPCC, 2021 .....	47
Figura 57.	TX40 Futuro lejano y cercano. Escenario de emisiones SSP 8.5. Elaboración propia en base a IPCC, 2021 .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos faltantes periodo seleccionado periodo 1960-2018. Fuente: Elaboración propia en base a datos de SMN.....	8
Tabla 2. Las series no mostraron datos de carácter atípico en sus registros diarios por lo que se conservó la totalidad de los datos. Resultados pruebas de consistencia de datos. Fuente: Elaboración propia .....	11
Tabla 3. Promedio de precipitaciones diarias Rx1 y valor máximo de precipitación, por década .....	26
Tabla 4. Promedio de precipitaciones diarias Rx1 y valor máximo de precipitación, por década .....	27
Tabla 5. Promedio de precipitaciones diarias Rx1 y valor máximo de precipitación, por década .....	28
Tabla 6. Eventos extremos de precipitaciones seleccionados. Fuente: elaboración propia. ....	30
Tabla 7. Correlación entre índice DOI y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).....	42
Tabla 8. Correlación entre índice ONI y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).....	42
Tabla 9. Correlación entre índice SAM y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).....	42
Tabla 10. Correlación entre índice DOI y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).....	43
Tabla 11. Correlación entre índice ONI y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).....	43
Tabla 12. Correlación entre índice SAM y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).....	43

## ÍNDICE DE SIGLAS

**ENOS:** el niño oscilación del sur

**IPCC:** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

**SMN:** Servicio Meteorológico Nacional

**WMO:** Organización Meteorológica Mundial

**PP:** Precipitaciones

**Temp:** Temperatura

**Tmáx:** Temperatura máxima

**Tmín:** Temperatura mínima

**Rx1:** Precipitación diaria máxima del año

**R95pT:** Precipitación anual total de los casos en que la precipitación diaria es mayor al percentil 95 (R95pT)

**TR:** Número de noches tropicales definido como el número anual de días en que la temperatura mínima diaria fue mayor a 20°C

**WSDI:** Duración de olas de calor definido como el número de días con al menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima supera el respectivo valor del percentil 90

**DOI:** Dipolo del Océano Índico

**ONI:** Índice Oceánico del Niño

**SAM:** Modo Anular del Sur

**NOAA:** Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica

**OLR:** Radiación de onda larga

## **Estudio de extremos de precipitación y temperatura en la zona centro-sur de Córdoba en base a índices del conjunto CLIMDEX**

Autoras: Ana Lucía Romero y Florencia Natali Ritta  
Director: Ing. Agr. Fernando Primo Forgioni  
Co-directora: Dra. Gabriela Viviana Müller

### **RESUMEN**

Existe abundante evidencia que demuestra que los cambios en la frecuencia, intensidad, duración y extensión espacial de los eventos extremos en contextos de cambio climático aumentarán la vulnerabilidad y la exposición de los sistemas socioecológicos ocasionando desastres.

Se procedió a evaluar mediante índices del conjunto CLIMDEX extremos de precipitación y temperatura en la zona comprendida entre los departamentos Río Segundo, Marcos Juárez y Río Cuarto durante; en el periodo 1960–2018.

El área de estudio comprende las localidades de Marcos Juárez, Pilar y Río Cuarto, la decisión de escoger las mismas recayó en el hecho de que las mismas poseen gran longitud temporal. Se utilizaron datos diarios de observación provenientes de la base de datos de estaciones operadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), para el periodo 1960-2018.

De los 27 índices del programa CLIMDEX fueron seleccionados para este trabajo solo 2, debido a su relevancia en el clima local y el interés en la confección de futuros estudios de impacto. Los índices evaluados fueron: Número de noches tropicales (TR), Duración de olas de calor (WSDI), Precipitación diaria máxima al año (Rx1) y Precipitación anual en el total de casos donde se supera el percentil 95 (R95pT).

En todos los casos los mismos fueron graficados mostrando el comportamiento de dichos índices en función de número de eventos totales por década y la tendencia seguida por los mismos durante el periodo analizado. Por último, se procedió a correlacionar las series de tiempo de precipitación con los índices del Niño oscilación del Sur (ONI), Modo Anular del Sur (SAM) y Dipolo del Océano Índico (DOI) para establecer la incidencia de estos en la ocurrencia de eventos extremos.

En todos los casos se observa un aumento en la ocurrencia e intensidad de estos de manera sostenida a lo largo del periodo analizado, lo cual se condice con escenarios de clima no estacionario. Por otro lado, las correlaciones son nulas para el caso de ONI, SAM Y DOI en todas las localidades, exceptuando el caso de Río cuarto quien presenta una débil señal negativa con el índice DOI lo que afectaría negativamente la precipitación cuando este índice es positivo.

**Palabras claves:** Eventos Extremos, Clima, Cambio climático, Oscilaciones, Temperatura, Precipitación

## **Study of extremes of precipitation and temperature in the south-central zone of Córdoba based on indexes from the CLIMDEX set**

Autoras: Ana Lucía Romero y Florencia Natali Ritta  
Director: Ing. Agr. Fernando Primo Forgioni  
Co-directora: Dra. Gabriela Viviana Müller

### **ABSTRACT**

There is abundant evidence that shows that changes in the frequency, intensity, duration and spatial extent of extreme events in contexts of climate change will increase the vulnerability and exposure of socio-ecological systems causing disasters.

We proceeded to evaluate by means of indexes of the CLIMDEX set extremes of precipitation and temperature in the area between the departments Rio Segundo, Marcos Juárez and Rio Cuarto during; in the period 1960–2018.

The study area includes the localities of Marcos Juárez, Pilar and Río Cuarto, the decision to choose them fell on the fact that they have a great temporal length. Daily observation data from the database of stations operated by the National Meteorological Service (SMN) were used, for the period 1960-2018.

Of the 27 indexes of the CLIMDEX program, only 2 were selected for this work, due to their relevance in the local climate and the interest in the preparation of future impact studies. The evaluated indices were Number of tropical nights (TR), Duration of heat waves (WSDI), Maximum daily precipitation per year (Rx1) and Annual precipitation in all cases where the 95th percentile (R95pT) is exceeded.

In all cases, they were graphed showing the behavior of said indices as a function of the number of total events per decade and the trend followed by them during the analyzed period. Finally, the precipitation time series were correlated with the El Niño Southern Oscillation (ONI), Southern Annular Mode (SAM) and Indian Ocean Dipole (DOI) indices to establish their incidence in the occurrence of events extremes.

In all cases, a sustained increase in the occurrence and intensity of these is observed throughout the analyzed period, which is consistent with non-stationary climate scenarios. On the other hand, the correlations are null for the case of ONI, SAM and DOI in all localities, except for the case of Río Cuarto, which presents a weak negative signal with the DOI index, which would negatively affect precipitation when this index is positive.

**Keywords:** Extreme Events, Climate, Climate Change, Oscillations, Temperature, Precipitation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe abundante evidencia que demuestra que los cambios en la frecuencia, intensidad, duración y extensión espacial de los eventos extremos aumentarán la vulnerabilidad y la exposición de los sistemas socioecológicos ocasionando desastres (Seneviratne et al., 2012; Magrin et al., 2014). Es decir, la variabilidad climática genera impactos sobre las actividades ambientales y económicas, (Robledo, et al., 2013) por ejemplo, olas de calor, sequías o inundaciones, las cuales afectan los ecosistemas, interrumpen la producción de alimentos y el suministro de agua e impactan negativamente en los asentamientos humanos causando morbilidad y mortalidad (Lovino et al., 2018).

A escala global se ha observado un incremento de eventos meteorológicos extremos en los últimos 60 años (Donat et al., 2013), particularmente de precipitaciones intensas, como también un cambio de los extremos de temperatura hacia condiciones más cálidas. El número de días y noches cálidas aumentaron mientras que, los días y noches frías disminuyeron, la duración y el número de olas de calor se ha incrementado (Seneviratne et al., 2012; Donat et al., 2013). A su vez, los cambios en el régimen de precipitaciones no son tan significativos como para la temperatura, y están influenciados por las variaciones regionales (Lovino et al., 2018).

Los eventos extremos se encuentran asociados a cambios del clima ocurridos a lo largo de la historia, estos si bien corresponden a la variabilidad propia del sistema climático, los mismos pueden verse afectados por forzantes diversos, entre ellos tenemos los fenómenos de interacción atmósfera-oceano, por ejemplo, el más conocido es el ENOS (el niño oscilación del sur) y por el calentamiento global de origen antropogénico (IPPC, 2013).

En la región sureste de América del Sur se presentan grandes desviaciones del clima medio en diferentes escalas de tiempo que conducen a frecuentes eventos extremos, incluidas inundaciones, sequías y olas de calor que afectan los sistemas naturales y humanos (Lovino et al., 2018). La evidencia sugiere un aumento en la precipitación anual en diferentes regiones de Argentina (Boullanger et al., 2005).

Durante los últimos 10 años, Argentina experimentó alrededor de 16 inundaciones o deslizamientos de tierra con más de 100 muertes. Las olas de calor y las rachas de frío han aumentado las tasas de mortalidad urbana han afectado a los cultivos estacionales al disminuir sus rendimientos. Existe una alta confianza estadística de que los cambios en los extremos climáticos están afectando la salud humana al aumentar la morbilidad, la mortalidad, las discapacidades, y mediante la aparición de enfermedades en regiones que antes no eran endémicas (Lovino et al., 2018). Como ejemplos concretos de precipitaciones extremas, con impactos severos en centros urbanos de Argentina se pueden mencionar: las inundaciones de Santa Fe en 2003 (Vionnet et al., 2006) y 2007 (DREF, 2007), de Capital Federal en 2013 (Merlinsky y Tobías, 2016) y de La Plata en 2013 (López y Etulain, 2017).

La tendencia de un aumento de los eventos extremos por los fenómenos meteorológicos y climáticos puede volverse más pronunciada en las próximas décadas (Seneviratne et al. (2012) Cavalcanti et al. (2015) y Carril et al. (2016). Es por esto que uno de los grandes desafíos para la población mundial es hacerle frente al cambio climático. Este último es definido como un cambio en el estado medio del clima o en su variabilidad, que se manifiesta por una tendencia en las variables climáticas durante un prolongado período (en general, se adopta un período de 30 años como período normal de referencia, definición por el IPCC, 2013).

Así mismo, los impactos de los extremos climáticos y el potencial de desastres se acrecientan en las regiones con alta exposición y vulnerabilidad, pudiendo agravarse aún más ante un contexto complejo de variabilidad y cambio climático (IPCC, 2014).

Las investigaciones sobre los cambios en las precipitaciones y temperaturas extremas han aumentado en los últimos años, especialmente desde que el primer Informe de Evaluación del IPCC (Boulangier et al., 2005) que identificó una escasez de tales estudios. Debido a esto y a la alta relevancia de los fenómenos de los eventos extremos, resulta importante generar estudios en la zona a partir de datos en contexto de cambio climático. Es por ello que el objetivo de este trabajo es evaluar índices de eventos climáticos extremos en la zona centro-sur de Córdoba, durante el periodo 1960-2018.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La región central de Argentina frecuentemente es afectada por severos extremos, los cuales son exacerbados por el cambio climático regional. Dichos cambios, observados y proyectados, tienen impacto en las localidades dentro del área de estudio. Debido a la nula información en el ámbito local y dado a que los cambios en los eventos extremos (incluida su frecuencia, intensidad, y duración) pueden aumentar aún más la vulnerabilidad de los ecosistemas y poblaciones, como así también, incrementar el riesgo de desastres. Por ello, resulta indispensable generar estudios con información científica adecuada en la zona.

Los resultados obtenidos serán un valioso aporte al conocimiento científico que contribuirá como insumo a la gestión de los riesgos asociados con eventos extremos, posibilitando así una mejor construcción de la capacidad adaptativa de la localidad en contextos de cambio climático y llenando un vacío en cuanto a información climática de base, la cual es un elemento clave en diversos trabajos.

El siguiente trabajo final de grado (TFG) está enmarcado en el proyecto de investigación perteneciente al programa de Ordenamiento Territorial del conglomerado Villa María-Villa Nueva, en donde se trabaja de manera interdisciplinaria con otros equipos de investigación, los cuales utilizarán los resultados obtenidos en el presente estudio como base para próximas investigaciones.

El TFG se desarrollará en la Universidad Nacional de Villa María cuya dirección está a cargo del coordinador de Observatorio Regional de Cambio Climático (ORCC), y además para prestar apoyo se ha decidido incluir bajo la figura de codirectora a la directora del Centro de Estudios de Variabilidad Atmosférica y Cambio climático (CEVARCAM). Con lo cual este contexto permitió acceso al centro y disponer de la información e infraestructura necesaria para llevar a cabo el trabajo. Los datos utilizados proceden de la base de estaciones operadas por el del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en las localidades de Pilar, Marcos Juárez, y Río Cuarto.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

- Evaluar mediante índices del conjunto CLIMDEX extremos de precipitación y temperatura en la zona comprendida entre los departamentos Río Segundo, Marcos Juárez y Río Cuarto durante; en el periodo 1960–2018.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar la tendencia seguida por las variables precipitación y temperatura para el caso en estudio.
- Correlacionar diversos forzantes atmosférico-oceánicos con las variables en el caso de estudio.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Delimitación del área de estudio

El área de estudio comprende las localidades de Marcos Juárez (-32°42'S 62°06'O), Pilar (-31°41'00"S 63°54'00"O) y Río Cuarto (-33°07'23"S 64°20'52"O), la decisión de escoger las mismas recae en el hecho de que la ciudad de Villa María no posee registros consentidos bajo la normativa de la Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés) para precipitación (PP) ni temperatura (T°), y además los mismos no poseen gran longitud temporal que permitan realizar análisis de homeostaticidad para la homologación de los mismos (Allen et al. 1998). La posibilidad de trabajar con reanálisis (NOAA, 2021) permitió realizar él estudió mediante el grillado por puntos (los cuales representan valores de latitud y longitud) toda el área sombreada (Figura 1) donde se encuentra la localidad de Villa María.

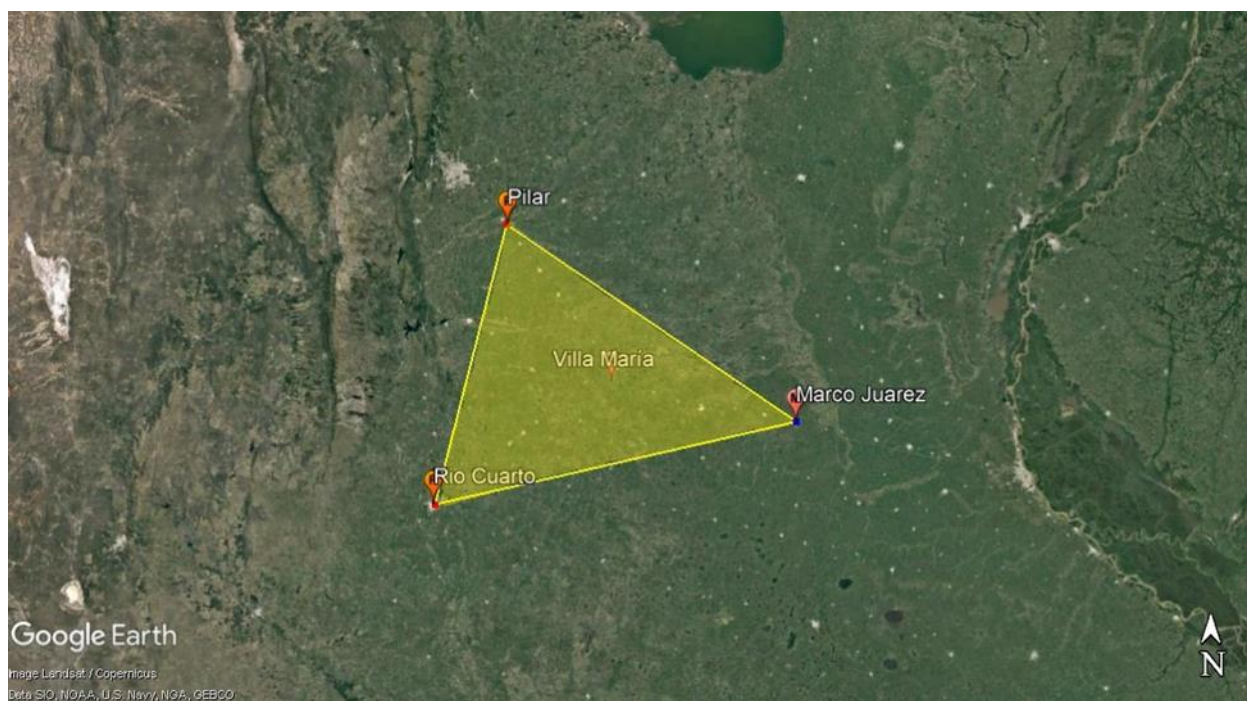


Figura 1. Mapa del área de estudio. Fuente: Elaboración propia. Google Earth, 2021.

A fin de actualizar la caracterización climática del área de estudio, se procedió a confeccionar Climogramas con los datos disponibles para las localidades en estudio. Los mismos se presentan a continuación.

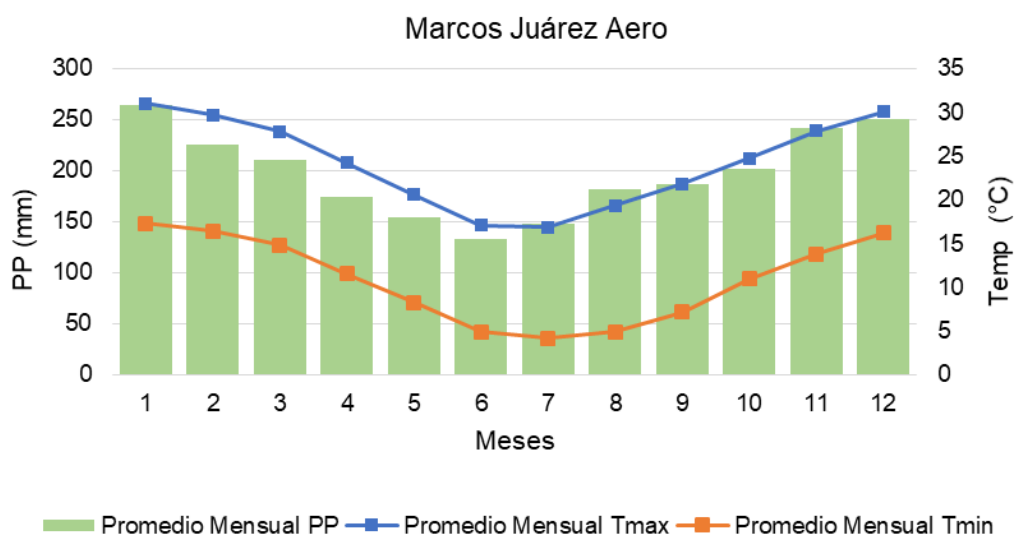


Figura 2. Climograma de la localidad de Marcos Juárez. Fuente: Elaboración propia, tomando los datos de SMN.

Al observar la Figura 2 correspondiente a la localidad de Marcos Juárez se distingue que los valores anuales oscilan entre los 17 °C y los 31 °C para temperatura máxima (Tmáx) y entre 4 °C y 17 °C para los valores de temperatura mínima (Tmín).

El régimen pluviométrico está concentrado abundantemente en el semestre cálido registrando el máximo promedio en el mes de enero (265 mm). Mientras que el semestre frío presenta una marcada baja, dando como resultado un régimen monzónico.

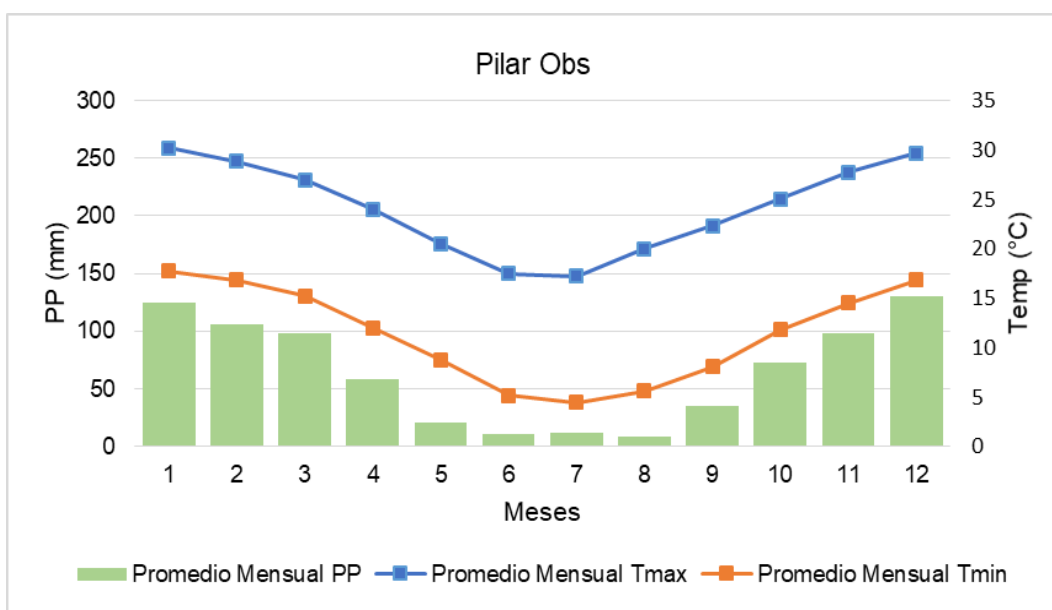


Figura 3. Climograma de la localidad de Pilar. Fuente: Elaboración propia, tomando los datos de SMN.

La localidad de Pilar posee valores anuales de temperatura máxima entre los 18 °C y los 30 °C, y entre los 5 °C y 18 °C para la temperatura mínima. Con respecto a las precipitaciones, se denota que las mismas están más concentradas que en la localidad de Marcos Juárez registrándose las mismas en el periodo estival, siendo diciembre el mes con valores más altos (131 mm). Por otro lado, se distingue un marcado periodo seco siendo el mes de agosto el que registra el promedio más bajo (9 mm).

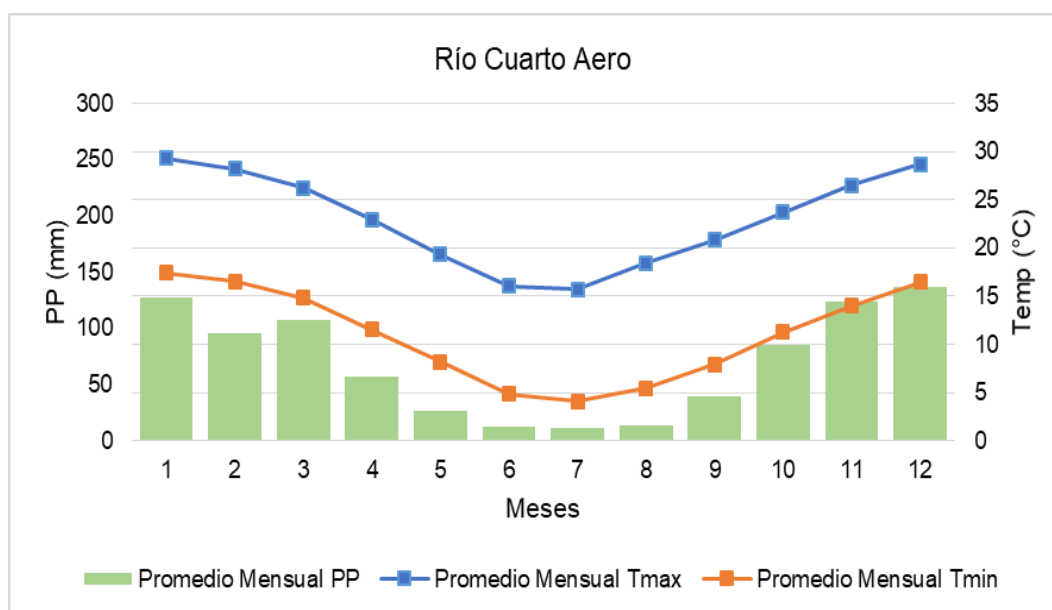


Figura 4. Climograma de la localidad de Río Cuarto. Fuente: Elaboración propia, tomando los datos de SMN.

El climograma de Río Cuarto muestra que la localidad posee valores anuales de Tmáx entre 16 °C y 29 °C y de entre 4 °C y 18 °C para Tmín. Al observar la precipitación, la misma es más abundante en los meses de primavera - verano, el mes de diciembre posee valores promedios más altos (136 mm), mientras que el periodo con valores medios más bajos se registra en Julio (14 mm).

Al comparar los 3 climogramas entre ellos, se observa que los promedios mensuales de Tmáx y Tmín son similares y no se registran variaciones espaciales significativas, en parte debido a la falta de obstáculos geográficos que puedan contribuir a los mismos. En cambio, las precipitaciones, si poseen valores diferentes debido a que el gradiente de precipitación aumenta en dirección este hacia el atlántico, destacándose Marcos Juárez como la serie con valores más altos en sus promedios, mientras que Río Cuarto y Pilar poseen valores similares.

#### 4.2. Reunión de información y consistencia de datos

Se utilizaron datos diarios de observación provenientes de la base de datos de estaciones operadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), para el periodo 1960-2018. Antes de

realizar la elección de las estaciones se procedió a un control de calidad de datos para determinar que las mismas contengan una cantidad menor a 2% como dato faltante en el total de la serie.

En los casos registrados como datos faltantes, si los mismos no se registran como saltos (grandes periodos de tiempo vacíos), y debido a la particular sensibilidad del estudio se procedió a dejar incompleto dicho dato. En el caso de encontrar un salto en la serie de tiempo, se desechó el año completo (Rusticucci y Barrucand, 2001).

*Tabla 1. Datos faltantes periodo seleccionado periodo 1960-2018. Fuente: Elaboración propia en base a datos de SMN.*

Estación	Año	Cantidad de datos faltantes
Marcos Juárez Aero	1996	70 días
	2010	304 días
Pilar Obs	1961	192 días
Río Cuarto Aero	1961	365 días
	1987	99 días

Debido a la variabilidad temporal del clima pueden existir errores en la toma de medidas o en su transmisión, y cambios en el instrumental utilizado, en la ubicación del observatorio o en su entorno. Estas alteraciones de las series, denominadas inhomogeneidades, enmascaran los verdaderos posibles cambios y hacen que el estudio de las series conduzca a conclusiones erróneas. Para abordar este problema se han desarrollado desde hace muchos años metodologías de homogeneización que permiten eliminar o reducir en lo posible estas alteraciones indeseadas.

Primeramente, se compararon las series tomando a “Pilar Observatorio” como patrón, aunque esta suposición es muy arriesgada, posteriormente se realizaron otras pruebas, las cuales en su conjunto diluyen sus posibles inhomogeneidades. A continuación, se presentan los ajustes de regresión entre las series temporales tomando como patrón la estación “Pilar observatorio”.

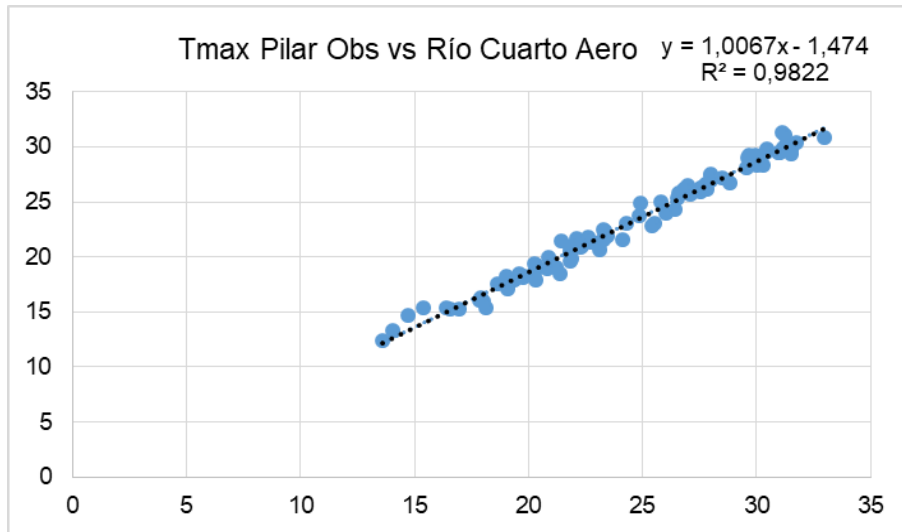


Figura 5. Correlación Tmax entre estación patrón (Pilas Obs) y Río Cuarto Aero, valor de ajuste sobre la esquina superior derecha ( $R = 0,98$ ).

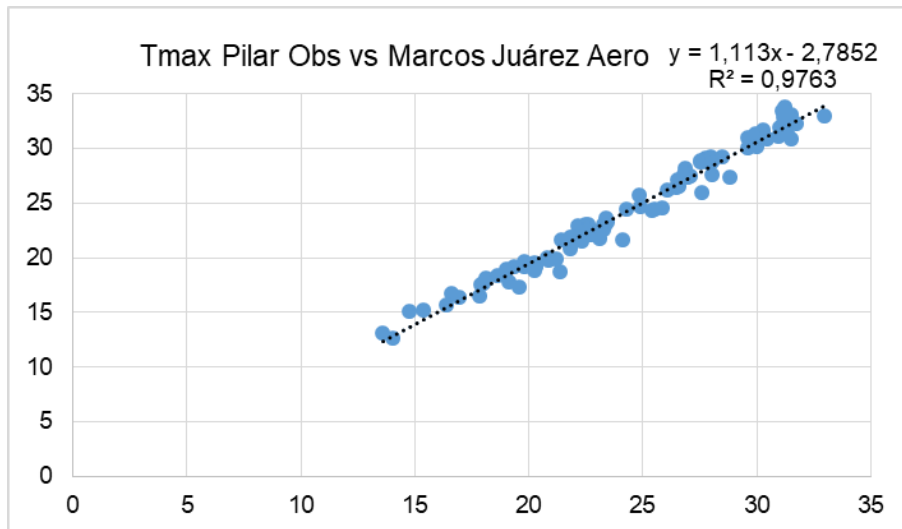


Figura 6. Correlación Tmax entre estación patrón (Pilas Obs) y Marcos Juárez Aero, valor de ajuste sobre la esquina superior derecha ( $R = 0,97$ ).

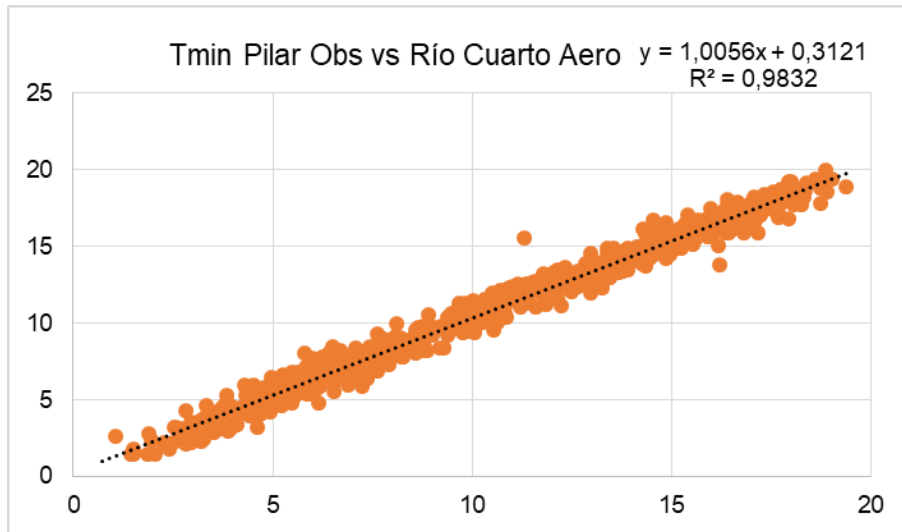


Figura 7. Correlación Tmin entre estación patrón (Pilas Obs) y Río Cuarto Aero, valor de ajuste sobre la esquina superior derecha ( $R = 0,98$ ).

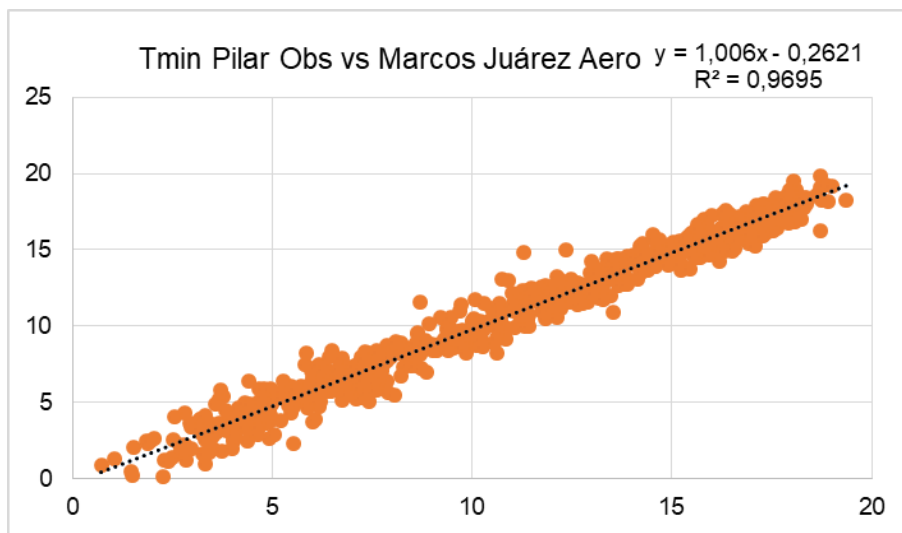


Figura 8. Correlación Tmin entre estación patrón (Pilas Obs) y Marcos Juárez Aero, valor de ajuste sobre la esquina superior derecha ( $R = 0,96$ ).

Es importante destacar que en todos los casos anteriores presentados se observa que el análisis de correlación tiene un buen ajuste ( $R$  cercanos a 1).

Obtenidos los resultados de las correlaciones con la estación patrón en cada serie, se inspeccionaron los datos totales de la serie para revisar que los mismos no contuviesen valores físicamente imposibles, como por ejemplo, precipitaciones negativas. En segunda instancia se inspecciono la distribución del ciclo anual de las variables por medio de los climogramas previamente confeccionados, con el fin de observar el patrón de comportamiento de las variables y detectar comportamientos extraños. Posteriormente se procedió a examinar si las series contenían probables valores atípicos (outliers), en función de detectar la posibilidad de que los mismos sean valores erróneos se utilizó el promedio climatológico de

la serie (1961-2018) y se calculó el desvío estándar. El mismo fue multiplicarlo por 20 como medida estimada de posibles valores extremos de la función de distribución de probabilidad asociada a las variables temperatura y precipitación. Los valores que excedieran este umbral serían evaluados para decidir si los mismos debiesen ser descartados como posibles datos erróneos.

*Tabla 2. Las series no mostraron datos de carácter atípico en sus registros diarios por lo que se conservó la totalidad de los datos. Resultados pruebas de consistencia de datos. Fuente: Elaboración propia.*

<b>Tipo de control</b>	
<b>Control de magnitudes físicas</b>	
Marcos Juárez Aero	No presenta
Pilar Obs	No presenta
Río Cuarto Aero	No presenta
<b>Control de ciclo anual</b>	
Marcos Juárez Aero	Normal
Pilar Obs	Normal
Río Cuarto Aero	Normal
<b>Control de rango fijo</b>	
Marcos Juárez Aero	Normal
Pilar Obs	Normal
Río Cuarto Aero	Normal
<b>Control de cero sospechoso</b>	
Marcos Juárez Aero	No presenta
Pilar Obs	No presenta
Río Cuarto Aero	No presenta

Por último, se procedió al estudio de “ceros” sospechosos en las series de tiempo. La precipitación posee errores inherentes en la toma de datos que son difíciles de detectar, el ejemplo, más claro es cuando la persona que toma el dato en lugar de dejar en blanco el casillero, anota un valor “0”. Estos valores prestan a confusión en los análisis ya que en los mismos existen las disyuntivas acerca de si el valor en “0” es la no ocurrencia de precipitación o simplemente es un dato faltante, por lo que la inclusión de estos podría atentar contra el criterio de datos faltantes descrito anteriormente. Para subsanar este caso, en las series temporales se utiliza nuevamente una estación patrón (previamente consultada al SMN como “libreta verificada”) donde se controlan sus registros con los utilizados sobre todo en periodos estivales donde se registran abundante cantidad de valores “0” en la serie.

### 4.3. Análisis de datos

Luego de realizar el estudio de control de la información se realizó el cálculo de los índices seleccionados del programa CLIMDEX que se describen a continuación, mostrando los resultados de estos en agrupaciones por décadas.

A modo de comparación entre modelos también se utilizó el paquete estadístico CLIMDEX del lenguaje de programación “R” (R Core Team, 2021) dichos resultados se pueden visualizar en el anexo.

#### 4.3.1. Índices de precipitación

De los 27 índices del programa fueron seleccionados para este trabajo solo 4, debido a su relevancia en el clima local y el interés en la confección de futuros estudios de impacto. A continuación, se detallan los índices que fueron utilizados y el procedimiento para el cálculo.

**Rx1:** *Precipitación diaria máxima del año. Relevante por su posible asociación con inundaciones y otros daños en la calidad de vida, la actividad agropecuaria y la infraestructura.* Para Rx1, se graficaron los milímetros (mm) acumulados en cada evento, la evolución de la máxima cantidad de mm por década, la evolución del promedio de mm por década, y las PP promedio de cada evento registrado.

**R95pT:** *Precipitación anual total de los casos en que la precipitación diaria es mayor al percentil 95 (R95pT).* En R95pT se graficaron los días donde se cumple la condición del evento por década, y la cantidad de mm acumulados por evento durante el periodo estudiado.

#### 4.3.2. Índices de temperatura

**TR:** *Número de noches tropicales definido como el número anual de días en que la temperatura mínima diaria fue mayor a 20°C.* En TR se graficaron la temperatura máxima (mínima), y la evolución de temperatura máxima (mínima) por década.

**WSDI:** *Duración de olas de calor definido como el número de días con al menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima supera el respectivo valor del percentil 90.* Para WSDI se graficaron el número de días promedio, la temperatura máxima durante el evento y la duración promedio en el periodo analizado.

En todos los casos los mismos fueron graficados mostrando el comportamiento de dichos índices en función del número de eventos totales por década y la tendencia seguida por los mismos durante el periodo analizado.

#### 4.4. Análisis de correlación

Primeramente, se procedió a dividir las series de tiempo en datos trimestrales. Tomando el gráfico de ciclo anual para cada localidad seleccionada, se procedió al trazado de una línea de tendencia lineal según la ecuación:

$$Y = a + b \cdot x$$

Donde “Y” es el valor pronosticado en un periodo “x”, “a” es la ordenada al origen y “b” es la pendiente de la línea. Esta es utilizada para conocer la tendencia seguida por las variables y de este modo constatar que la misma no permanece estable debido al contexto de clima no estacionario (IPCC, 2014). Obtenida la ecuación se procedió a calcular “Y”, reemplazando en la ecuación el término “x” por el número de año de la serie, siendo 1988 el año 1 hasta 2018 el año 30. Calculada esta tendencia, la misma se restó al valor de la variable para obtener la recta sin la tendencia y así poder utilizar la misma en la base de datos de reanálisis NCEP NCAR del laboratorio de física de la atmósfera de la NOAA. Los mismos son un conjunto de datos globalmente actualizado que representa el estado de la atmósfera de la tierra, incorporando observaciones y resultados numéricos del modelo de predicción del clima desde 1948 hasta el presente.

##### 4.4.1 Marcos Juárez Aero

Aunque la estación de Marcos Juárez Aero fue utilizada para el cálculo de índices de eventos extremos, el análisis de correlación fue descartado debido a la gran cantidad de datos de precipitaciones faltantes, lo que dificulta el análisis de correlación en el periodo seleccionado.

##### 4.4.2 Localidad Pilar

A continuación, se presentan las Figuras 9 y 10 con y sin tendencia para los trimestres cálidos de diciembre-enero-febrero (D-E-F) y septiembre-octubre-noviembre (S-O-N) en la estación de Pilar Obs.

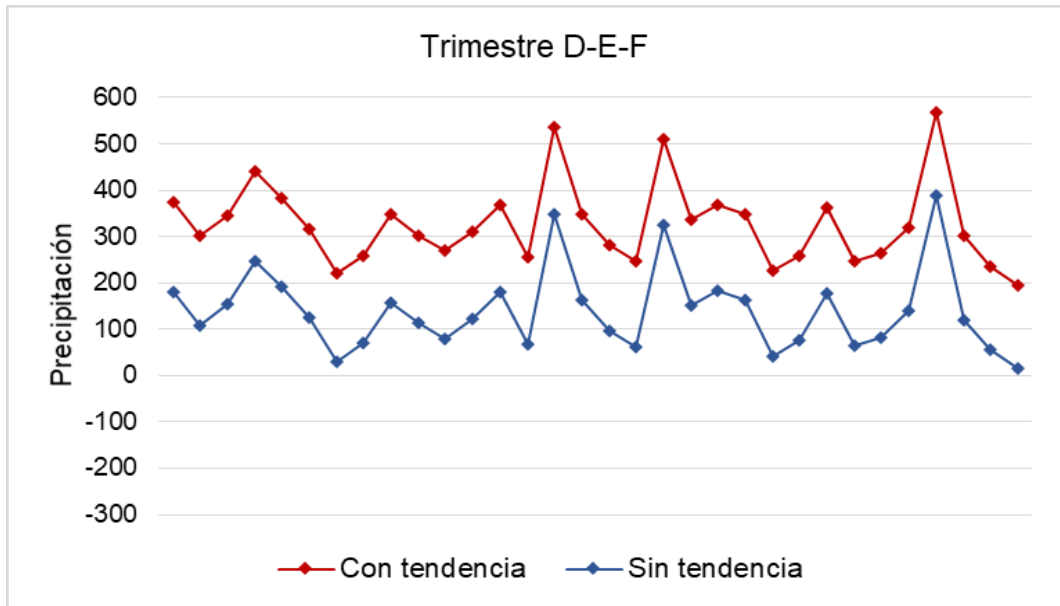


Figura 9. Valores de precipitación para la estación de Pilar Obs. Curva roja corresponde al gráfico con tendencia y la azul al gráfico sin tendencia para los meses de D-E-F.

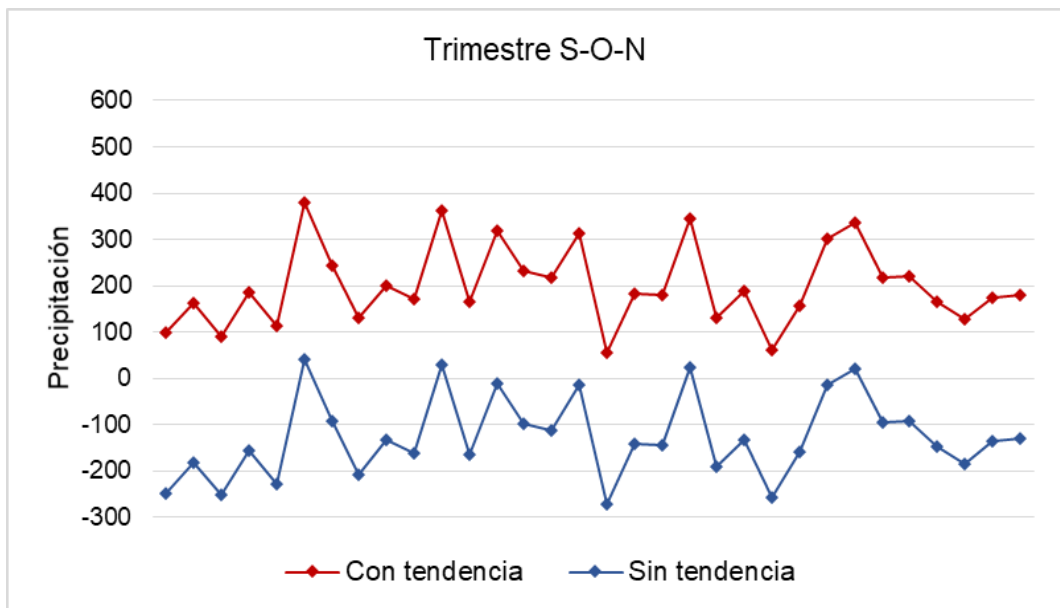


Figura 10. Valores de precipitación para la estación de Pilar Obs. Curva roja corresponde al gráfico con tendencia y la curva azul al gráfico sin tendencia para los meses de S-O-N.

#### 4.4.3 Río Cuarto Aero

A continuación, se presentan las Figuras 11 y 12 con y sin tendencia para los trimestres cálidos de diciembre-enero-febrero y septiembre-octubre-noviembre en la estación de Río Cuarto Aero.

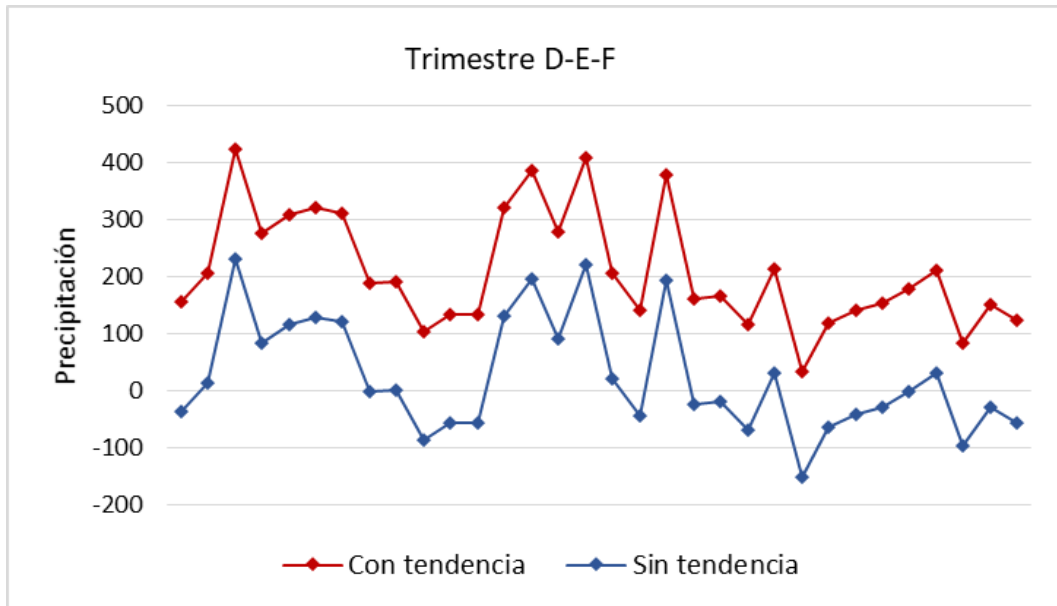


Figura 11. Valores de precipitación para la estación de Río Cuarto Aero. Curva roja corresponde al gráfico con tendencia y la curva azul al gráfico sin tendencia para los meses de D-E-F.

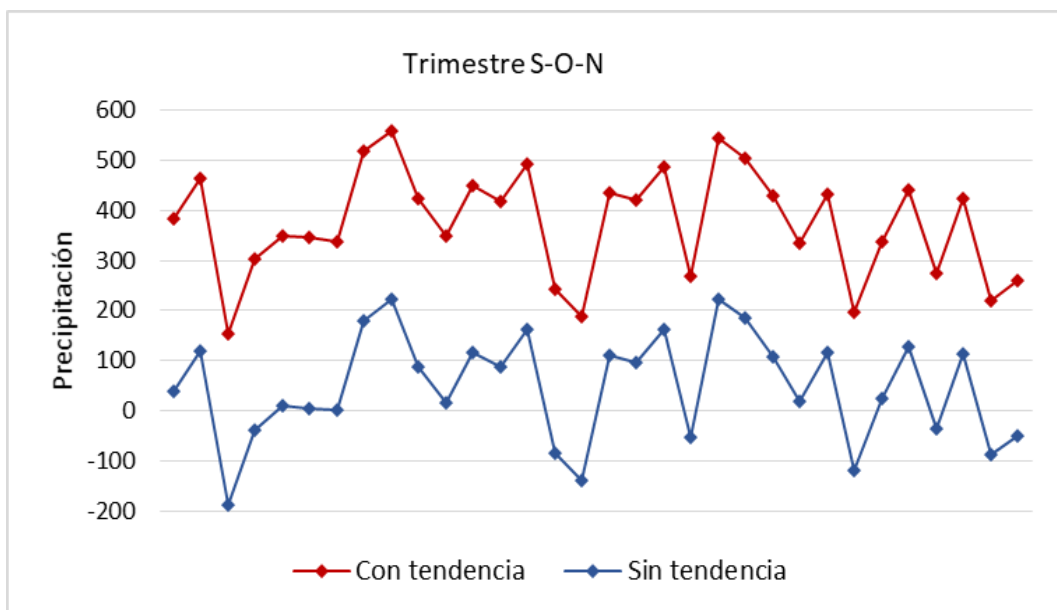


Figura 12. Valores de precipitación para la estación de Río Cuarto Aero. Curva roja corresponde al gráfico con tendencia y la curva azul al gráfico sin tendencia para los meses de S-O-N.

Filtrada la tendencia, se procedió a calcular la correlación entre índices que representan diversos forzantes, los cuales poseen procesos de muy baja frecuencia a escala planetaria, y las variables temperatura y precipitación, con el fin de intentar establecer alguna conexión entre los mismos. Dichos índices fueron correlacionados aplicando la función de correlación con un desfase. En la misma se construye una versión desfasada de la serie

temporal, *retardando* (o *adelantando*) los valores de la serie en la magnitud del desfase. Llevando este desfase hasta 5 meses antes y 5 meses después de ocurrido el fenómeno el forzante en cuestión. Los forzantes utilizados serán:

- Dipolo del Océano Índico (DOI): índice que mide las anomalías de temperatura superficial en región occidental del océano Índico. En su fase positiva genera un aumento de temperatura en el Indico Oeste y disminución en el Este.
- Índice Oceánico del Niño (ONI por sus siglas en inglés): el cual mide anomalías de temperatura superficial del mar en la región niño 3.4 del océano pacífico Ecuatorial.
- El Modo Anular del Sur (SAM) por sus siglas en inglés: mide las oscilaciones de presión entre zonas polares del hemisferio sur y latitudes medias. Es un cinturón de vientos del oeste de baja presión cercanos a la Antártida que se mueven hacia el norte o el sur en su modo de variabilidad. En la fase positiva el cinturón de vientos del oeste se desplaza hacia el sur o se contrae hacia la Antártida; mientras que en fase negativa los vientos del oeste se expanden hacia el norte, es decir hacia afuera de la Antártida.

Mediante la carga de datos obtenidos anteriormente luego del filtrado de la tendencia, se generaron figuras de distintos patrones de circulación global de la atmósfera y su influencia en Sudamérica. A fin de robustecer el análisis, fueron seleccionados algunos eventos extremos específicos para generar las figuras de acuerdo con diversos niveles de altura geopotencial. La misma es una expresión altamente utilizada en la meteorología ya que indica la altura a la que se encuentra una parcela de aire a determinada presión; facilitando el análisis de fenómenos meteorológicos.

Por último, se procedió a la preparación de las series de datos con el fin de correr las mismas mediante un enlace con el servidor de la NOAA, lo cual permitir observar de mejor manera las correlaciones de diversas variables del área en estudio con los índices de oscilaciones seleccionados.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Análisis de índices de extremos

#### 5.1.1 Índices de temperatura

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los índices de temperatura.

##### 5.1.1.1 Noches tropicales (TR)

###### 5.1.1.1.1 Marcos Juárez Aero

Luego de realizar el cálculo del índice TR para la localidad de Marcos Juárez, en la Figura 13 y su línea de tendencia, se identifica un aumento en la cantidad de eventos registrados durante el periodo analizado. El valor de R sumamente bajo indica que este ajuste (el paso de los años) no explica esta tendencia positiva que se traduce en un aumento de la temperatura máxima y mínima, lo cual refleja condiciones climáticas no estacionarias. Esto último se condice con los resultados hallados para el hemisferio sur en la 6ta contribución del grupo I al informe del IPCC (2021) y los resultados regionales presentados por el SMN en su reporte preliminar del clima en Argentina (2021).

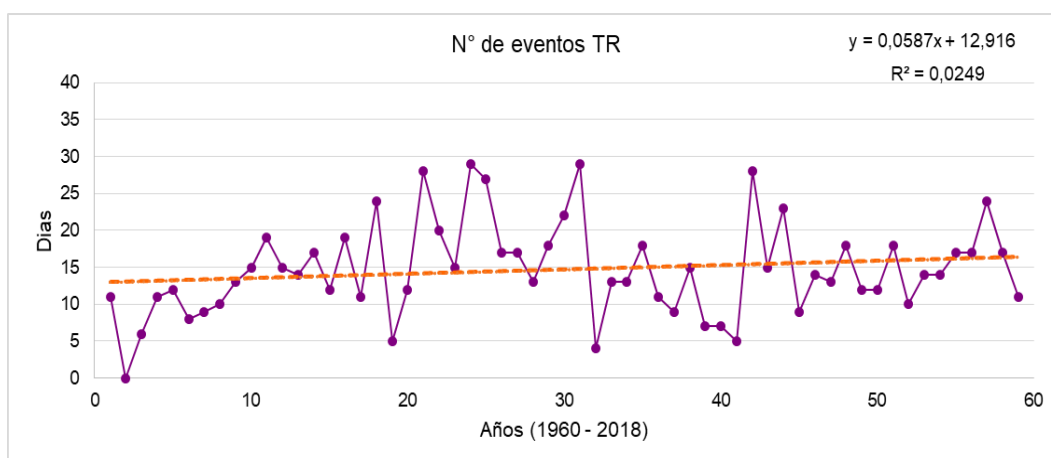


Figura 13. Número de eventos por década 1960-2018 (línea violeta) y línea de tendencia (puntos).

En cuanto a la ocurrencia de eventos TR siguiendo los valores arrojados (Figura 14), se desprende que en 1983 ocurrieron 28 eventos (días) en los cuales la temperatura mínima promedio fue de 23,6°C. Siendo la década 3 (1980-1989) la que registra mayor número de eventos con un total de 206 y una temperatura promedio de 23,73°C. Cabe destacar que a partir de la década siguiente los eventos TR vuelven a aumentar sostenidamente. Por último, se observa que en la última década (particularmente en el año 2014) se dio la temperatura máxima de la mínima con un valor de 27°C y 17 eventos ocurridos (Figura 15).

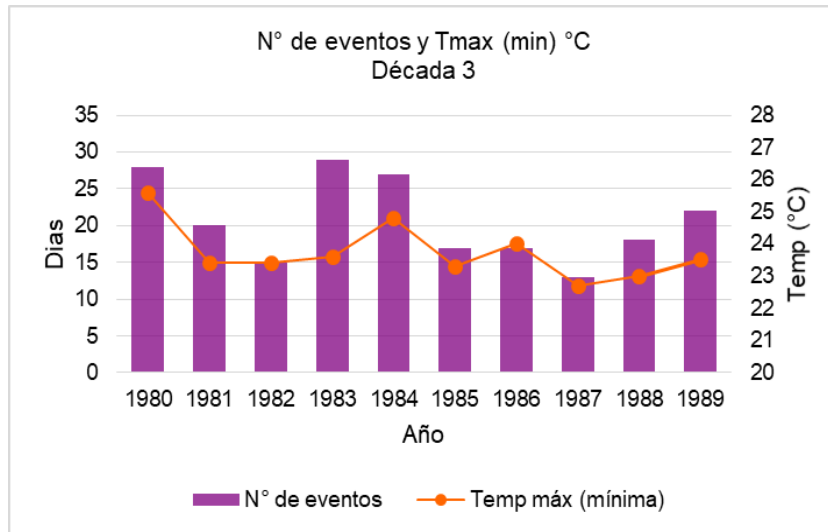


Figura 14. Distribución de eventos TR y temperatura máxima inferior registrada (mínima) durante los años 1980 y 1989.

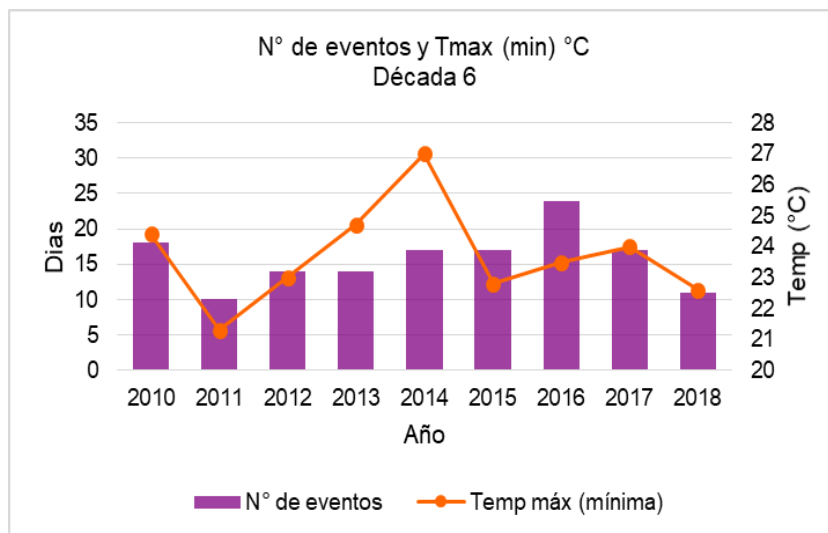


Figura 15. Distribución de eventos TR y temperatura máxima inferior registrada (mínima) durante los años 2010 a 2018.

#### 5.1.1.1.2 Pilar Observatorio

En la Figura 16 el índice TR para la localidad de Pilar, se determina que la línea de tendencia va en aumento de manera sostenida. Al igual que Marcos Juárez Aero el valor R continúa siendo bajo indicando lo descrito anteriormente. Esto permite identificar un aumento en la cantidad de eventos registrados durante el periodo analizado, lo cual refleja nuevamente condiciones climáticas no estacionarias.

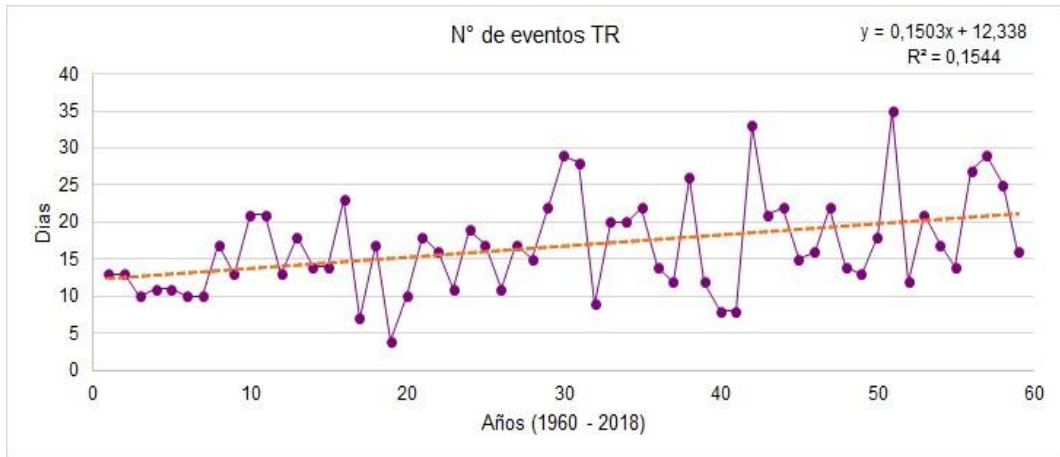


Figura 16. Número de eventos por década 1960-2018 (línea violeta) y línea de tendencia (puntos).

En cuanto a la ocurrencia de eventos TR de acuerdo con los valores arrojados por la Figura 17 en 2010 ocurrieron 35 eventos (días) en los cuales la temperatura mínima promedio fue de 23,4°C. Siendo la década 6 (2010-2018) la que registra mayores números de eventos con un total de 196 y una temperatura promedio de 23,51°C. Por último, se observa que, en la penúltima década, en el año 2008 se encuentra la temperatura mínima promedio más alta, de 24,8 °C; con 13 eventos ocurridos.

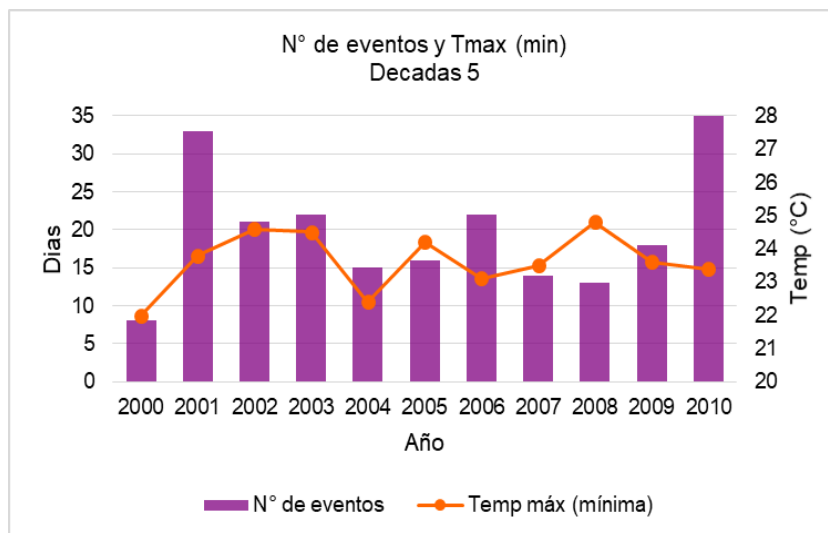


Figura 17. Distribución de eventos TR y temperatura máxima inferior registrada (mínima) durante los años 2000 a 2010.

### 5.1.1.1. 3 Río Cuarto Aero

La Figura 18 y su línea de tendencia, indican la existencia de un aumento en la cantidad de eventos ocurridos en el periodo estudiado. Por lo que el patrón de aumento es sostenido en toda la región, en consonancia a los resultados encontrados por IPCC (2021) y SMN (2021).

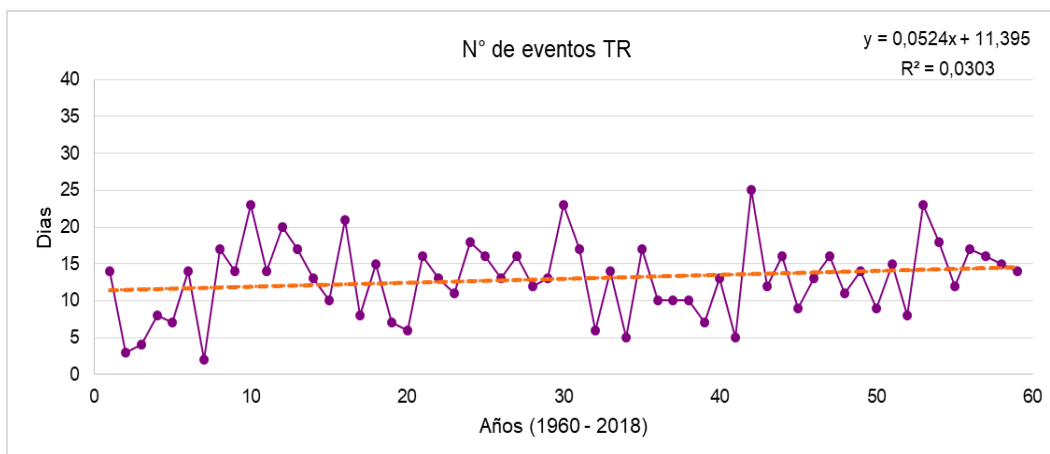


Figura 18. Número de eventos por década 1960-2018 (línea violeta) y línea de tendencia (puntos).

Respecto a la ocurrencia de eventos TR conforme a los datos arrojados por la Figura 19, permiten observar que en 2001 hubo 25 eventos (días) en los cuales la temperatura mínima promedio fue de 23,8 °C. Por otro lado, en la década 3 (1980-1989) se encuentra mayor número de eventos con un total de 151 y una temperatura promedio de 23,22 °C. A su vez, se identifica que, en la última década, en el año 2013 se encuentra la temperatura mínima promedio más alta, de 25,3 °C; con 18 eventos ocurridos.

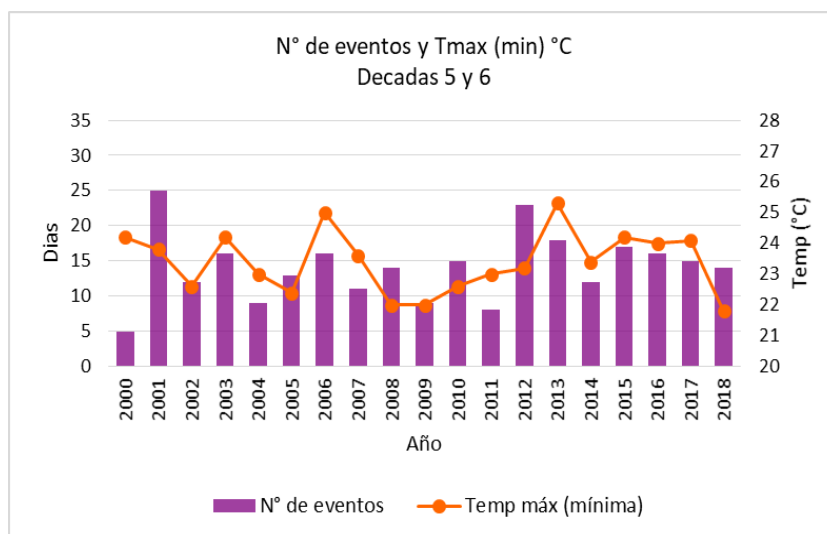


Figura 19. Distribución de eventos TR y temperatura máxima inferior registrada (mínima) durante los años 2010 a 2018.

### 5.1.1.2 Olas de calor (WSDI)

#### 5.1.1.2.1 Marcos Juárez Aero

Luego de calcular el índice WSDI para la localidad de Marcos Juárez, se observa que la última década (2010-2018) registra el mayor número de eventos con un total de 24 olas de calor. Por otro lado, en 1964 se dio la mayor temperatura máxima promedio, siendo de 42 °C; mientras que la mayor temperatura mínima promedio se dio en 1980 con 10,1 °C.

Cabe destacar que según los resultados de la Figura 20, las olas de calor registran mayor cantidad de eventos y persistencia en el tiempo. Por otro lado, observando la figura 21 podemos ver que la tendencia seguida por la temperatura máxima no posee una pendiente positiva mientras que la temperatura mínima esta tendencia si se ve reflejada en un aumento neto de los valores de la misma, esto se condice con los resultados hallados por la última contribución del grupo I del IPCC (2021).

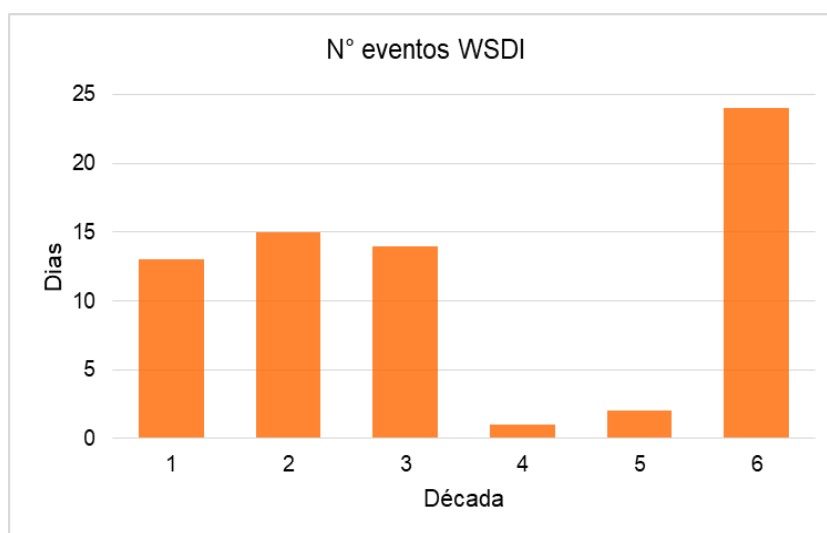


Figura 20. Cantidad de eventos de WSDI por década (1960-2018).

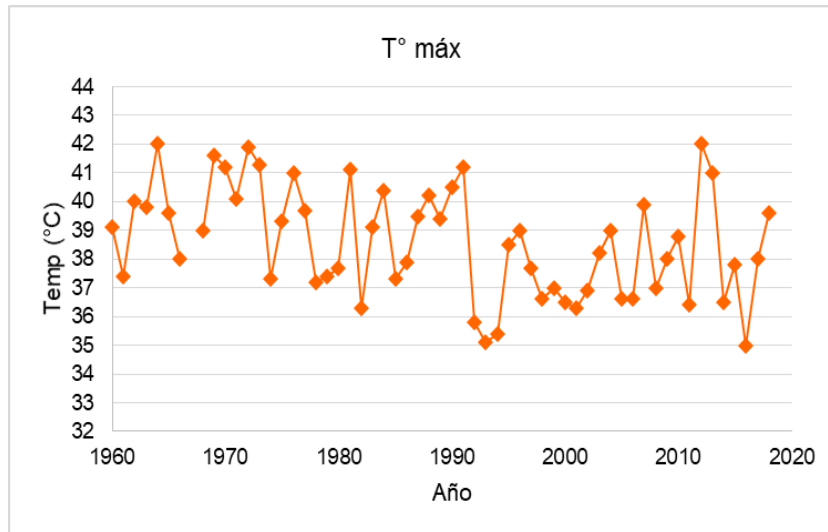


Figura 21. Distribución de T<sub>máx</sub> durante los años 1960 y 2010.

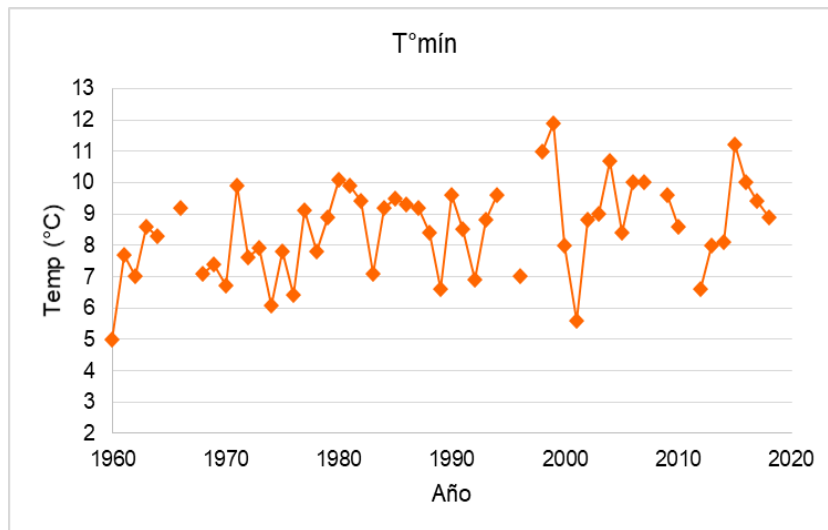


Figura 22. Distribución de T<sub>mín</sub> durante los años 1960 y 2010.

#### 5.1.1.2.2 Pilar Observatorio

Luego de calcular el índice WSDI para la localidad de Pilar, se puede determinar (mediante la figura 23) que la década 3 (1980-1989) registra el mayor número de eventos con un total de 9 olas de calor. Por otro lado, en 1972 se dio la mayor temperatura máxima promedio, siendo de 42,6 °C; mientras que la mayor temperatura mínima promedio se dio en 1979 con 10,2 °C. Podemos observar también en las figuras 24 y 25 que la tendencia seguida tanto por la variable temperatura máxima como temperatura mínima durante todo el periodo poseen una pendiente positiva, lo cual nos demuestra un aumento no solo en la ocurrencia de estos fenómenos sino en la intensidad de estos.

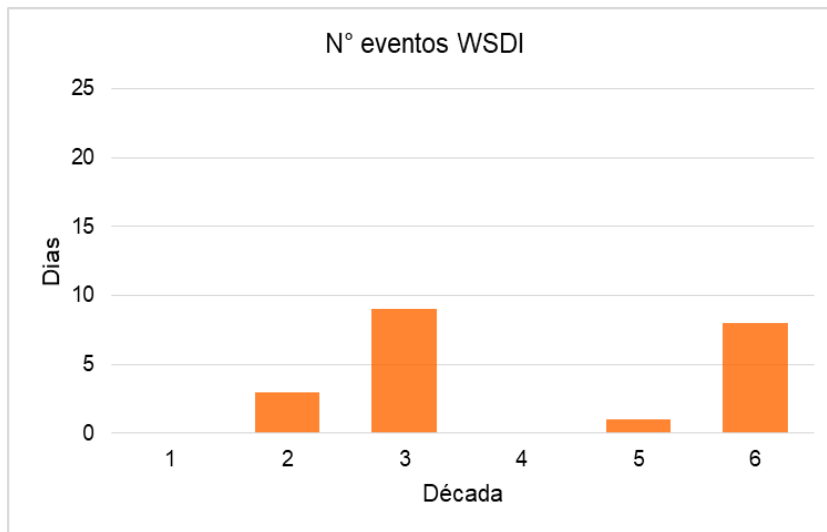


Figura 23. Cantidad de eventos de WSDI por década (1960-2018).

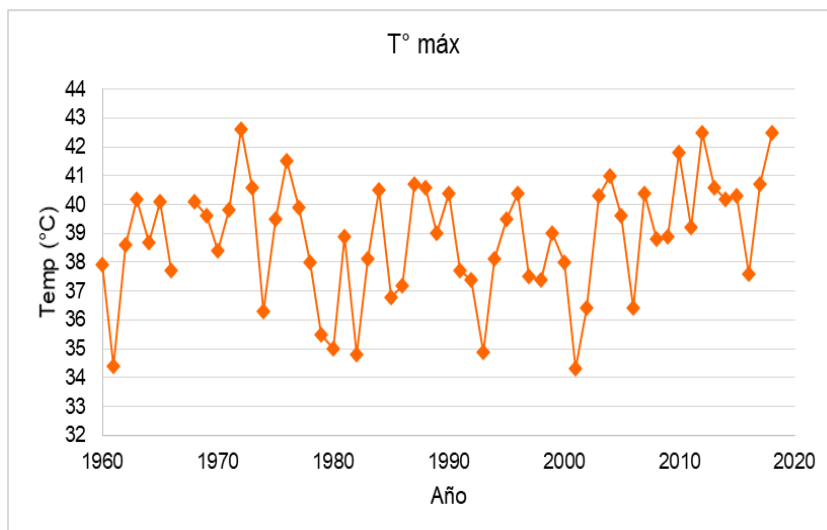


Figura 24. Distribución de T<sub>máx</sub> durante los años 1960 y 2010.

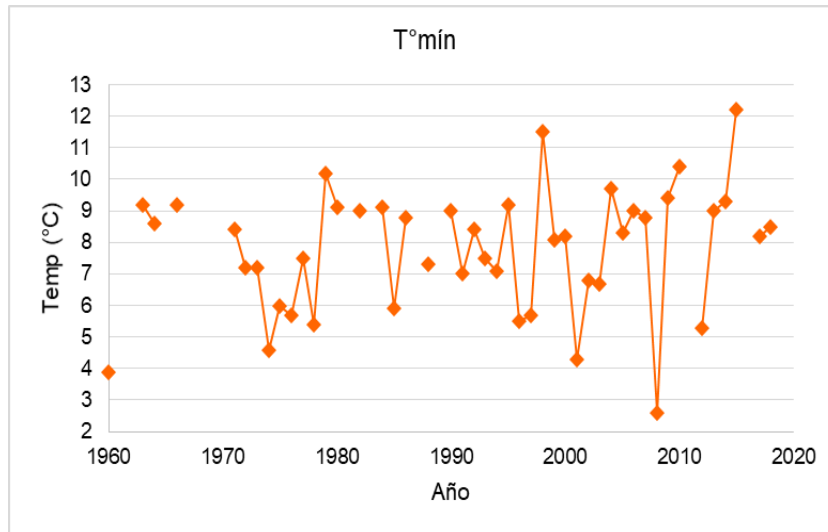


Figura 25. Distribución de T<sub>min</sub> durante los años 1960 y 2010.

### 5.1.1.2. 3 Río Cuarto Aero

Una vez analizado el índice WSDI para la localidad de Río Cuarto, se puede determinar que no hay un gran número de olas de calor para dicha localidad, observando la figura 26 solo se registran 8 eventos en la década 3 (1980-1989). Sin embargo, la mayor temperatura máxima promedio fue de 42,9 °C en el año 1972; mientras que la mayor temperatura mínima promedio se dio en el año 1987 con 9 °C. Sin embargo, las figuras 27 y 28 nos muestran de manera similar a la localidad de Pilar que el patrón de aumento tanto en temperatura máxima como mínima siguen un aumento en sus valores como lo demuestra la pendiente de la recta.

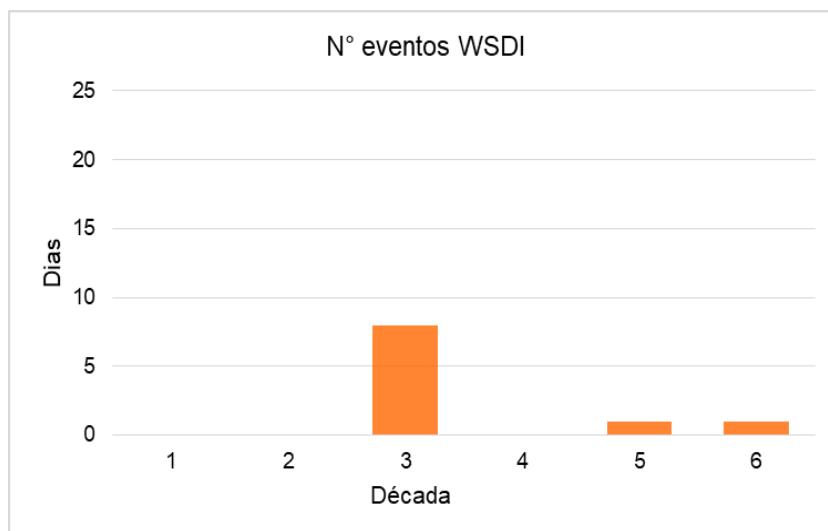


Figura 26. Cantidad de eventos de WSDI por década (1960-2018).

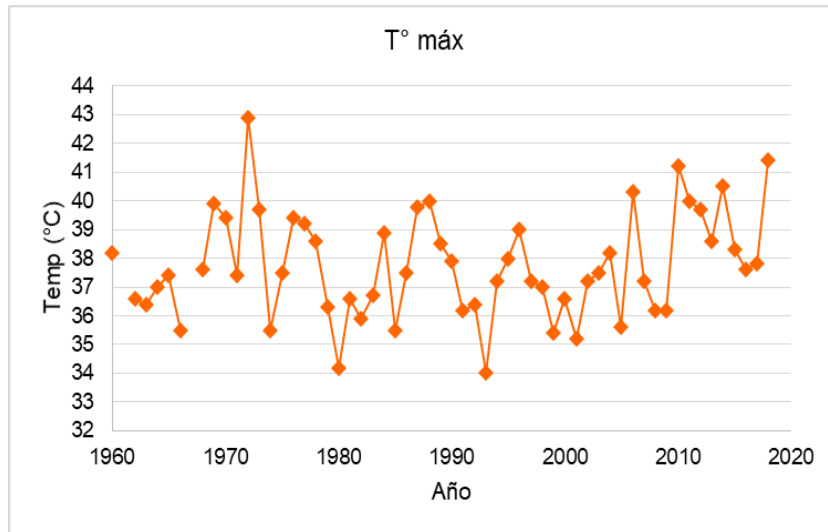


Figura 27. Distribución de Tmáx durante los años 1960 y 2010.

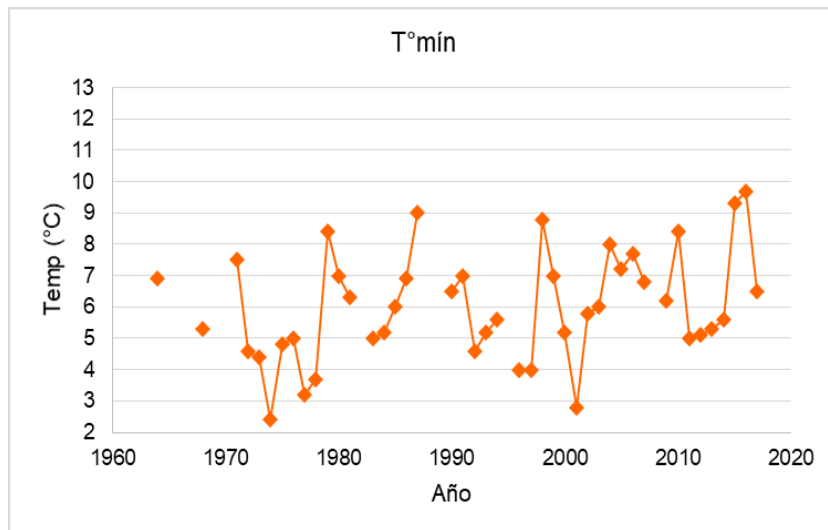


Figura 28. Distribución de Tmín durante los años 1960 y 2010.

### 5.1.2 Índices de Precipitaciones

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los índices de precipitaciones.

#### 5.1.2.1 Rx1

##### 5.1.2.1.1 Marcos Juárez Aero

La Figura 29 perteneciente a la localidad de Marcos Juárez para el índice Rx1, demuestra dos eventos significativos de precipitaciones diarias, siendo 1977 con 161,8mm y 2002 con 141mm. Observando la línea de tendencia positiva es de esperar una mayor ocurrencia de estos eventos.

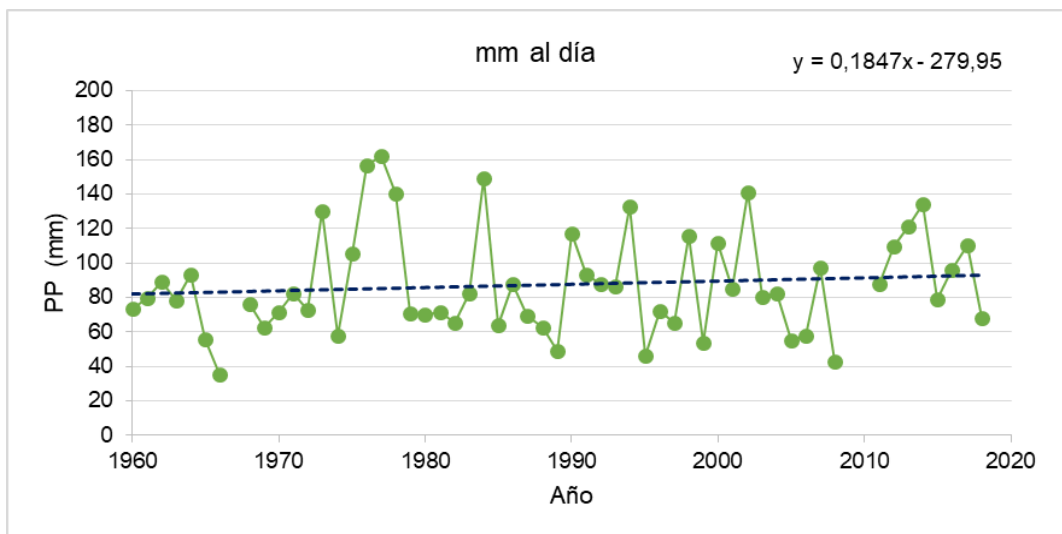


Figura 29. Comportamiento de eventos de precipitación máxima diaria Rx1 (línea verde) y línea de tendencia para el periodo 1960-2018.

De acuerdo con la Tabla 3 se determina que en la década 2 ocurrieron las mayores precipitaciones con un promedio de 104,9mm.

Tabla 3. Promedio de precipitaciones diarias Rx1 y valor máximo de precipitación, por década.

Década	Promedio Rx1	Máx década
1	71,5	93,5
2	104,9	161,8
3	77,0	148,9
4	87,1	132,9
5	83,6	141,0
6	100,7	134,0

#### 5.1.2.1.2 Pilar Observatorio

La Figura 30 indica que hay dos eventos significativos de precipitaciones perteneciente a la localidad de Pilar para el índice Rx1, la primera siendo en 2004 con 198mm y la segunda en 2016 con 153mm. Se prevé un incremento para las próximas décadas en la ocurrencia de estos eventos, ya que la línea de tendencia va en aumento.

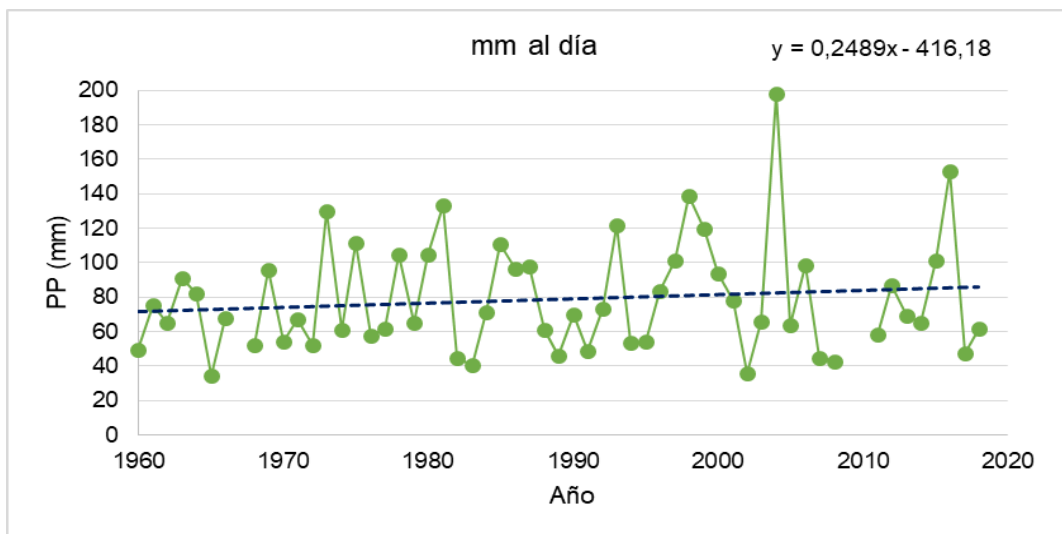


Figura 30. Comportamiento de eventos de precipitación máxima diaria Rx1 (línea verde) y línea de tendencia para el periodo 1960-2018.

De acuerdo con la Tabla 4 se determina que en la década 4 ocurrieron las mayores cantidades de eventos con un promedio de 138,6mm. Mientras que en la década 5 ocurrió el mayor promedio de precipitaciones con 198 mm.

Tabla 4. Promedio de precipitaciones diarias Rx1 y valor máximo de precipitación, por década.

Década	Promedio Rx1	Máx década
1	68,2	95,8
2	76,5	129,8
3	80,7	133,4
4	86,5	138,6
5	80,2	198,0
6	80,5	153,0

### 5.1.2.1.3 Río Cuarto Aero

En la Figura 31 se identifican dos eventos significativos de precipitaciones perteneciente a la localidad de Río Cuarto; el primero siendo en 1994 con 140,5mm y el segundo en 2001 con 143mm. A su vez, la tendencia negativa muestra que existe una disminución en la ocurrencia de eventos con precipitaciones a lo largo del tiempo, pero los mismos se concentran en menor cantidad de días.

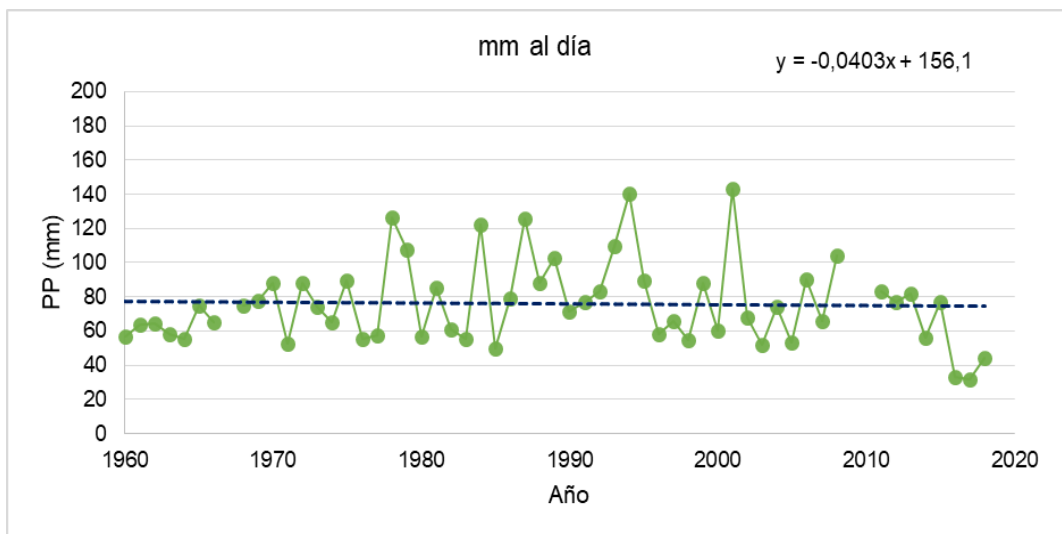


Figura 31. Comportamiento de eventos de precipitación máxima diaria Rx1 (línea verde) y línea de tendencia para el periodo 1960-2018.

De acuerdo con la Tabla 5 en la década 4 ocurrieron las mayores cantidades de eventos con un promedio de 83,8mm. Mientras que en la década 5 ocurrió el mayor promedio de precipitaciones con 143mm.

Tabla 5. Promedio de precipitaciones diarias Rx1 y valor máximo de precipitación, por década.

Década	Promedio Rx1	Máx década
1	65,6	77,5
2	80,4	126,6
3	82,7	126,0
4	83,8	140,5
5	78,9	143,0
6	60,5	83,0

### 5.1.2.2 R95pT

#### 5.1.2.2.1 Marcos Juárez Aero

En la localidad de Marcos Juárez se obtuvo un percentil 95 de 40mm. Como se observa en la Figura 32 en el año 1976 hubo 11 días en los cuales la precipitación diaria fue mayor al percentil 95, mientras que en 1990 hubo 9 días donde ocurrieron estos eventos.

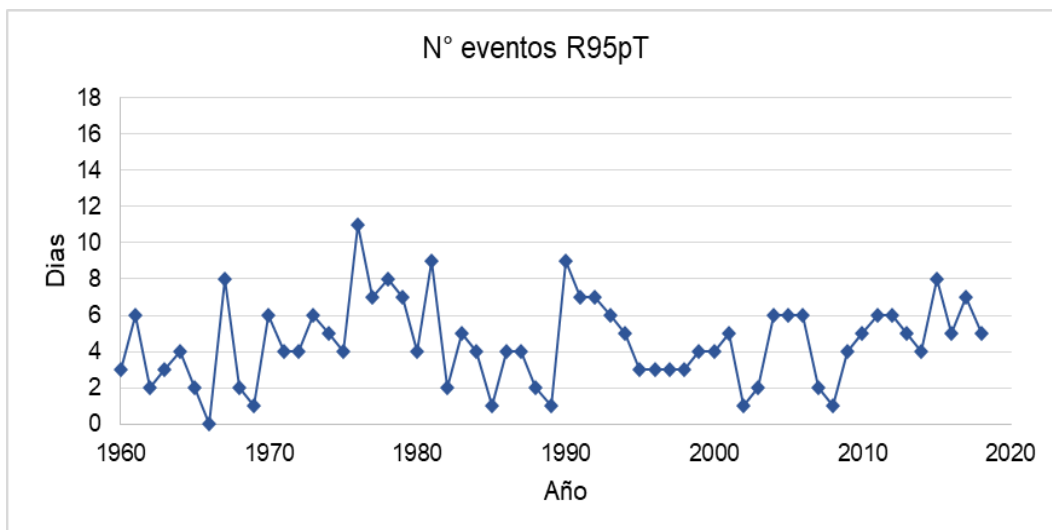


Figura 32. Número de eventos para R95pT por año (1960-2018).

#### 5.1.2.2.2 Pilar Observatorio

En la localidad de Pilar se obtuvo un percentil de 35mm. La Figura 33 en el año 1992 indica 16 días en los cuales la precipitación diaria fue mayor al percentil 95.

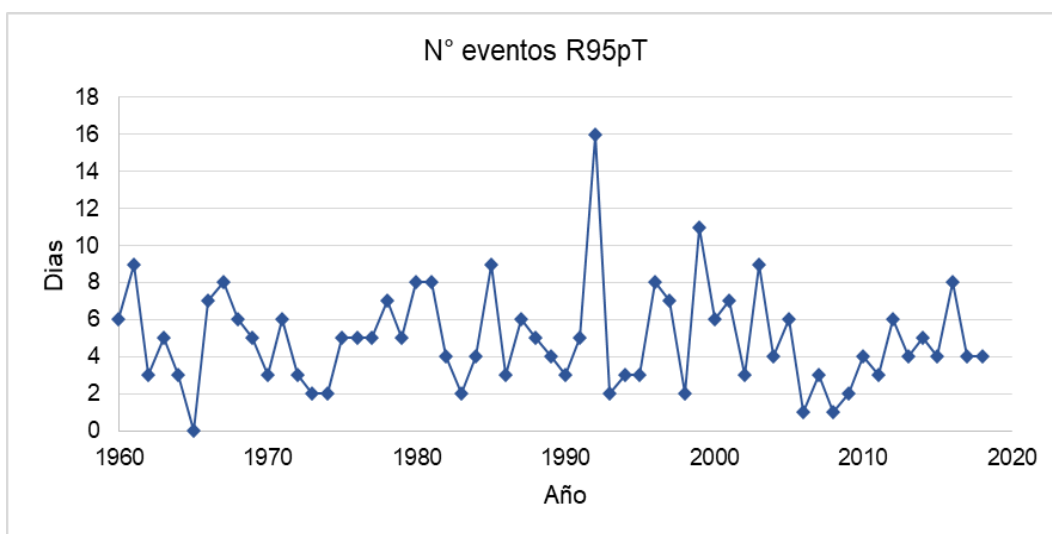


Figura 33. Número de eventos para R95pT por año (1960-2018).

#### 5.1.2.2.3 Río Cuarto Aero

El percentil 95 para la localidad de Río Cuarto es de 35mm. La Figura 34 muestra que en el año 1999 hubo 11 eventos (días) en los cuales la precipitación diaria fue mayor al percentil 95.

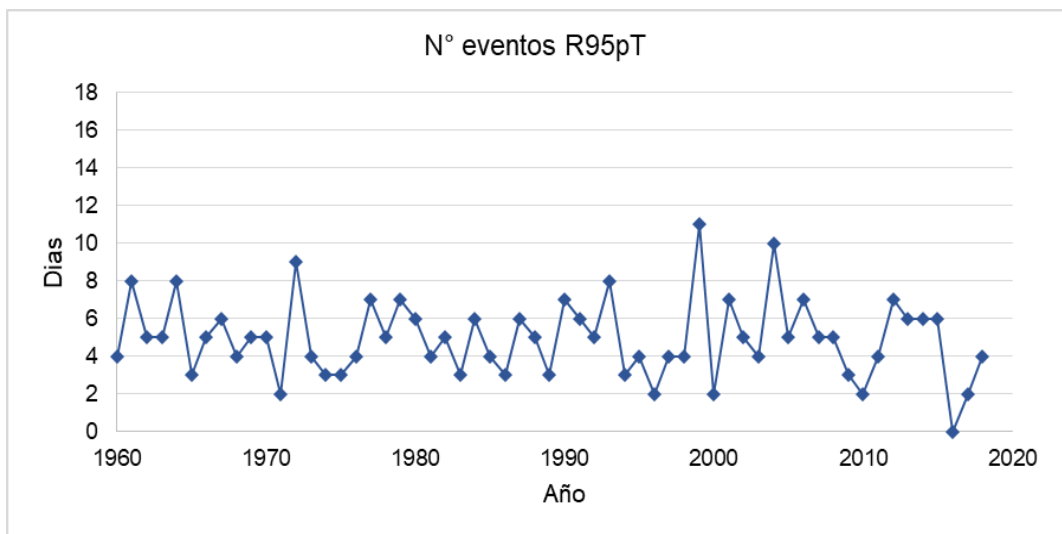


Figura 34. Número de eventos para R95pT por año (1960-2018).

## 5.2 Ploteo mediante reanálisis NCEP NCAR de eventos seleccionados

Se decidieron plotear las siguientes figuras 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49; con el fin de encontrar aproximaciones, que permitan relacionar la ocurrencia de eventos extremos de precipitación seleccionados, con perturbaciones de carácter planetario. A continuación, en la tabla 6 se presentan los eventos seleccionados para las 3 estaciones.

Tabla 6. Eventos extremos de precipitaciones seleccionados. Fuente: elaboración propia.

Índice	Estación	Año
<b>Rx1</b>	Marcos Juárez Aero	2002
	Pilar Obs	2004
	Rio Cuarto Aero	2001
<b>R95Pt</b>	Marcos Juárez Aero	1990
	Pilar Obs	1992
	Rio Cuarto Aero	1999

### 5.2.1 Rx1 Marcos Juárez Aero – 2002

A continuación se presentan las Figuras 35, 36 y 37 correspondientes a anomalías (es decir valores por encima o por debajo del promedio climatológico) durante el mes de noviembre de 2002.

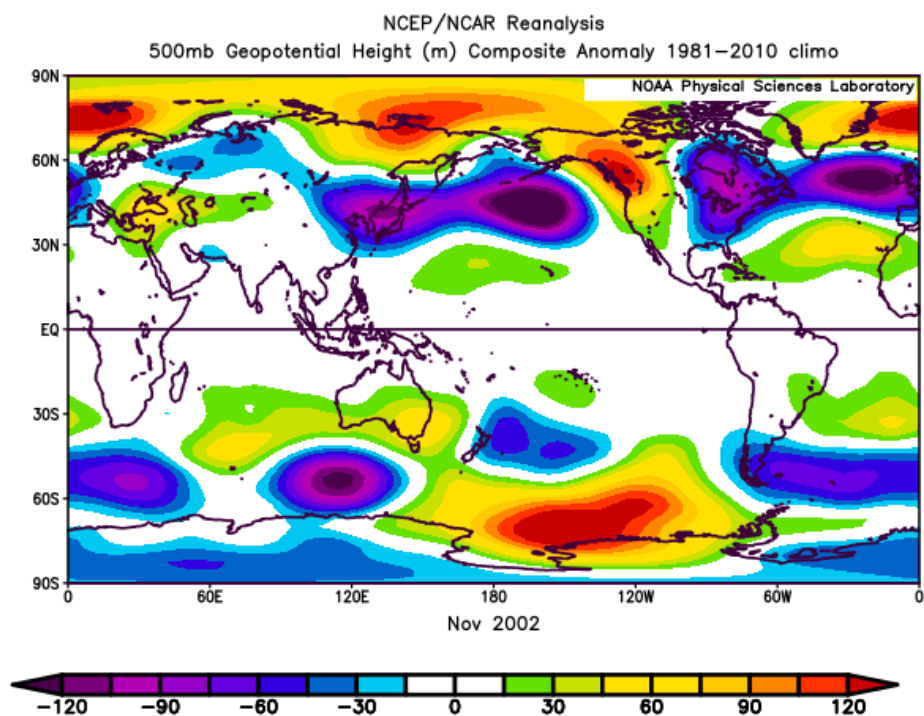


Figura 35. Ploteo correspondiente a anomalias de altura geopotencial en 500 milibares (mb). Mes de noviembre, año 2002 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

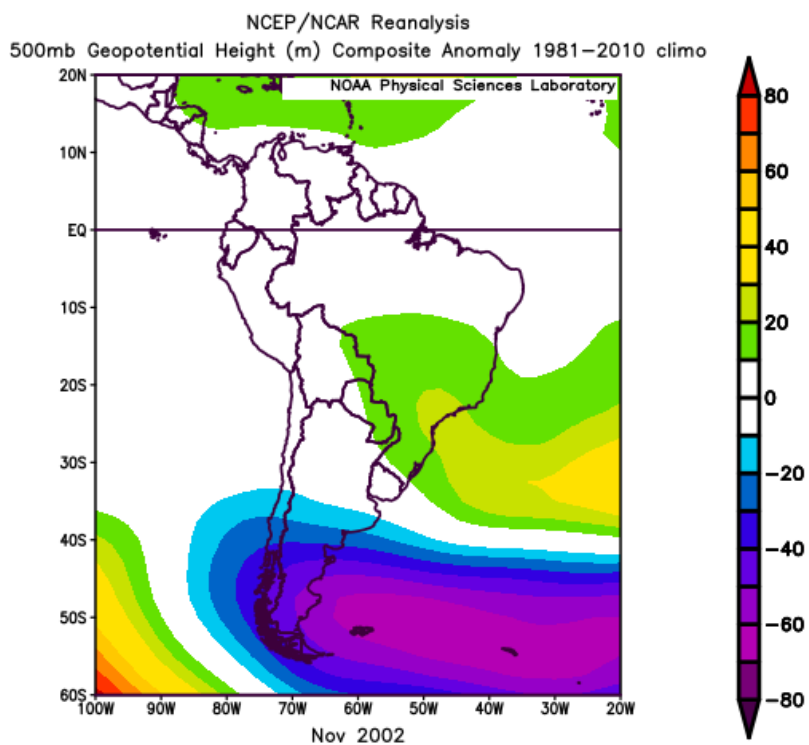


Figura 36. Ploteo correspondiente a anomalias de altura geopotencial en 500 milibares (mb). Región de Sudamerica. Mes de noviembre, año 2002 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

En la región donde se ubica la estación de Marcos Juárez Aero para el año 2002, se observa que la energía disponible para la perturbación que desencadena el fenómeno en cuestión, no proviene de fuentes locales; ya que es posible identificar que la onda pierde fuerza al penetrar en el sur de Brasil, dejando el área central de Argentina sin efectos.

Como se observa en las Figuras 35 y 36 las condiciones sinópticas propias del mes de noviembre son las que generan el evento de precipitación intensa, esto se corrobora con el ploteo obtenido en la Figura 37 que corresponde a las anomalías de radiación de onda larga (OLR por sus siglas en inglés).

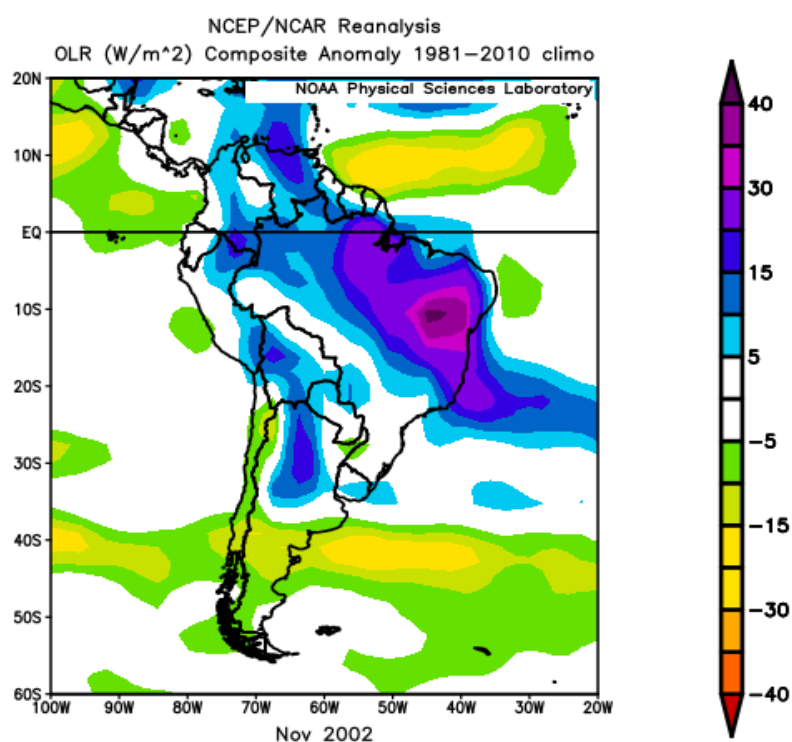


Figura 37. Ploteo correspondiente a anomalías de radiación de onda larga (OLR) en 700 milibares (mb). Región de sudamerica. Mes de noviembre, año 2002 con respecto a promedio climatologico 1981-2010.

### 5.2.2 Rx1 Pilar – 2004

Aquí se se presentan las Figuras 38, 39, 40, 41 y 42 correspondientes a anomalías durante el mes de noviembre de 2004.

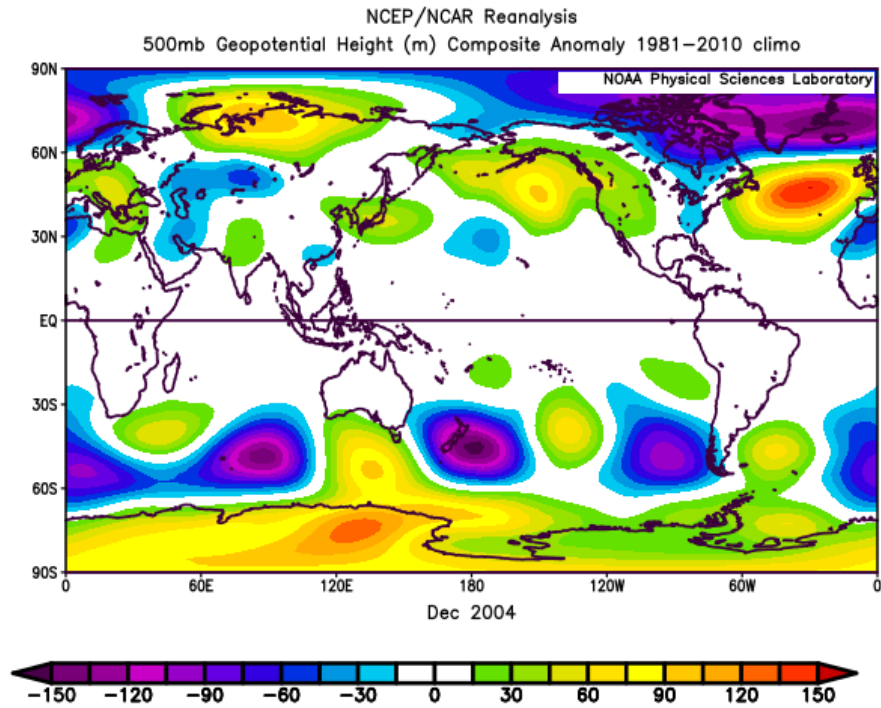


Figura 38. Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500 milibares (mb). Mes de diciembre, año 2004 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

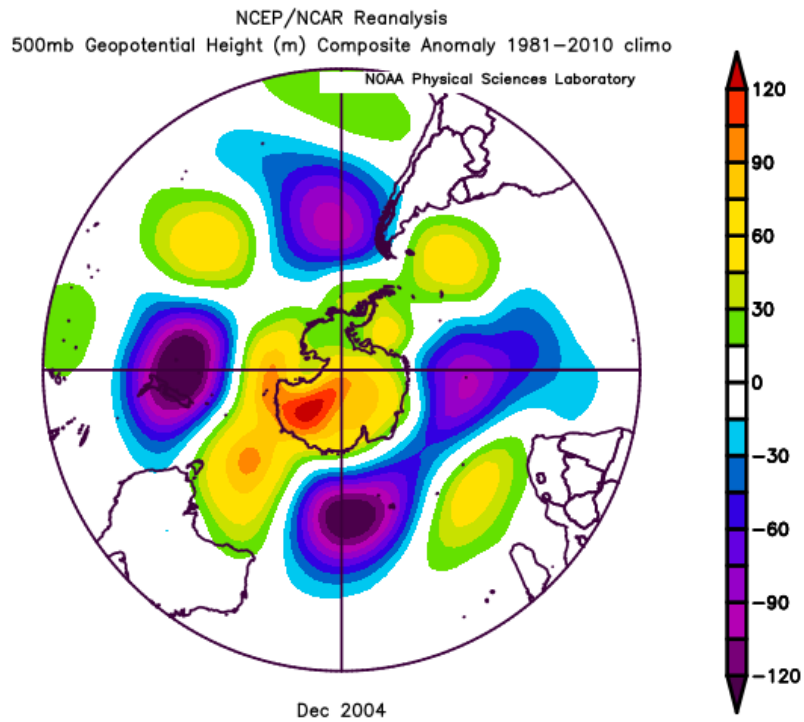


Figura 39. Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500 milibares (mb). Hemisferio Sur. Mes de diciembre, año 2004 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

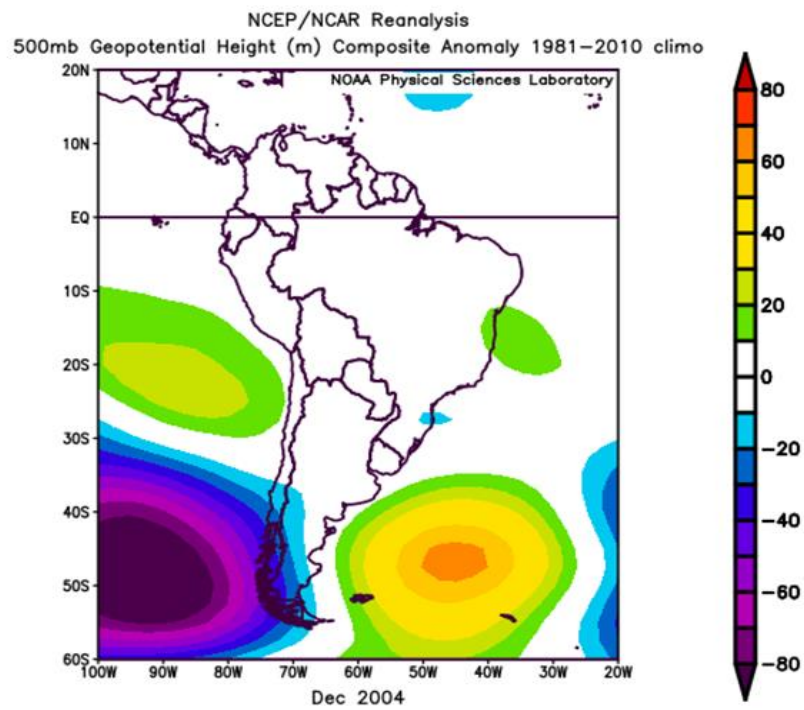
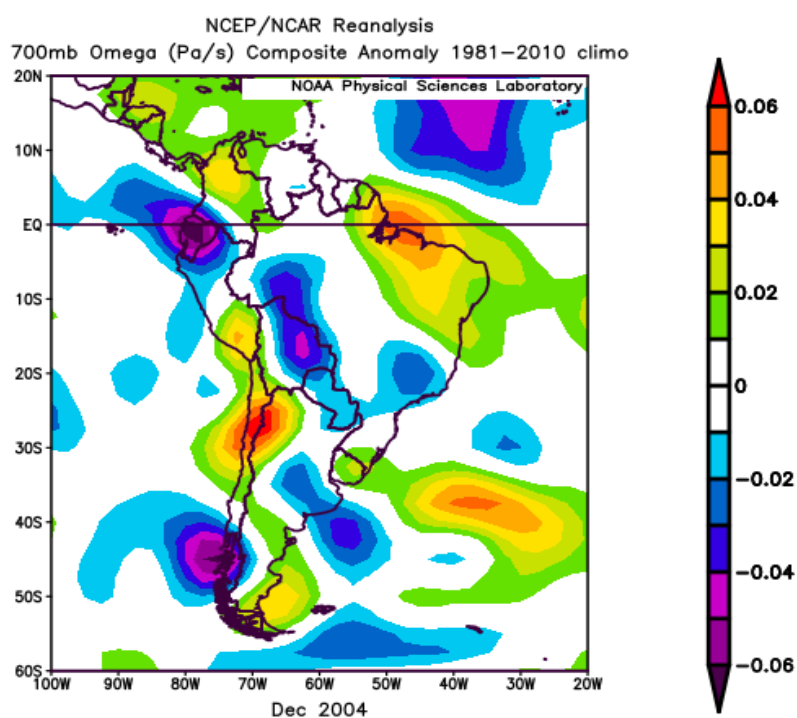


Figura 40. Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500 milibares (mb). Mes de diciembre, año 2004, con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

Como puede observarse en las Figuras 38, 39 y 40 presentadas anteriormente, la energía para la perturbación procede la zona denominada “Storm Tracks”, donde la misma se traslada mediante un tren de ondas planetario que recorre todo el círculo de latitudes medias hasta las costas del Mar Argentino; formando así un centro de baja presión en superficie (identificado por la anomalía de geopotencial positiva en capas medias), La perturbación transiente descrita anteriormente como anomalía de carácter ciclonico, provoca condiciones de advección de masas de aire frías sobre la región central de Argentina. Esto genera un aumento del coeficiente  $\Omega$  (Figura 41), el cual está asociado a la ocurrencia de tormentas convectivas.



*Figura 41. Ploteo correspondiente a anomalías de Omega ( $\Omega$ ) en 700mb. Sudamerica. Mes de diciembre, año 2004 con respecto a promedio climatologico 1981-2010.*

Como se demuestra en la Figura 42, las condiciones de anomalía negativa muestran que el debilitamiento de la componente del viento meridional (aquel que se mueve en direcciones norte-sur o viceversa) refuerzan la teoría de advecciones frías sobre el continente, provocadas por la baja ciclonica sobre el atlantico en los  $-30^\circ$  Lat sur aproximadamente.

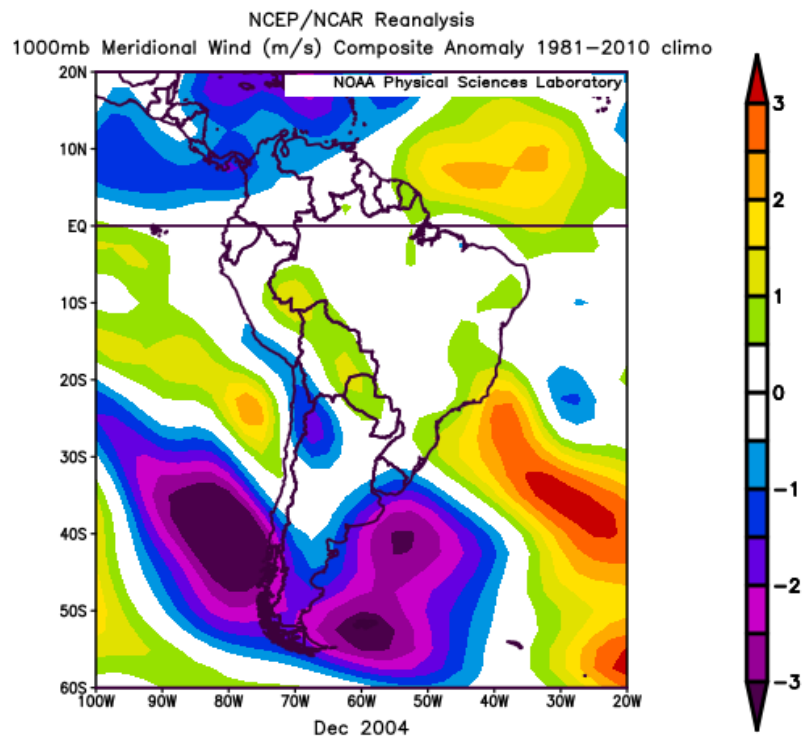


Figura 42. Ploteo correspondiente a anomalías de la componente del viento meridional en 1000 mb. Sudamerica. Mes de diciembre año 2004 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

### 5.2.3 Rx1 Río cuarto – 2001

Para el caso de Río cuarto el motor para el fenómeno en cuestión deviene de una perturbación proveniente de la zona de los “storm tracks”. La misma viaja por el océano terminando su recorrido en Argentina, dando como producto una anomalía ciclónica que advecta vientos fríos, los cuales provocan precipitaciones en forma de frente.

Lo mismo puede corroborarse por el coeficiente de ascenso  $\Omega$  el cual tiene signo positivo. Reforzando la idea de un pasaje de un frente frío, donde el mismo actuaría como palanca del aire cálido alojado en el centro de Argentina, provocando el ascenso de la masa de aire que precipitaría sobre el continente.

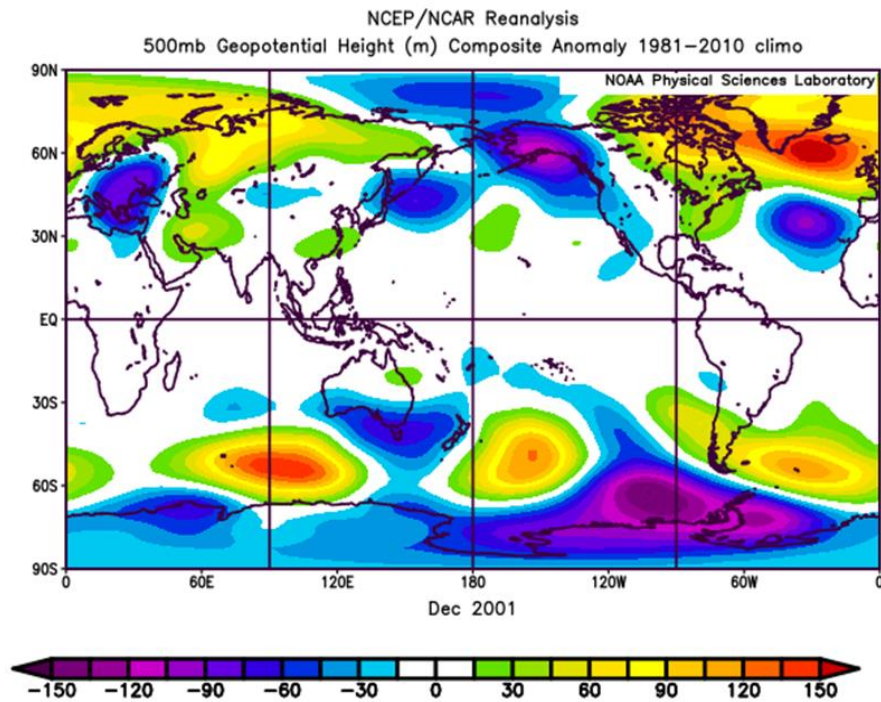


Figura 43. Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500mb. Mes de diciembre, año 2001, con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

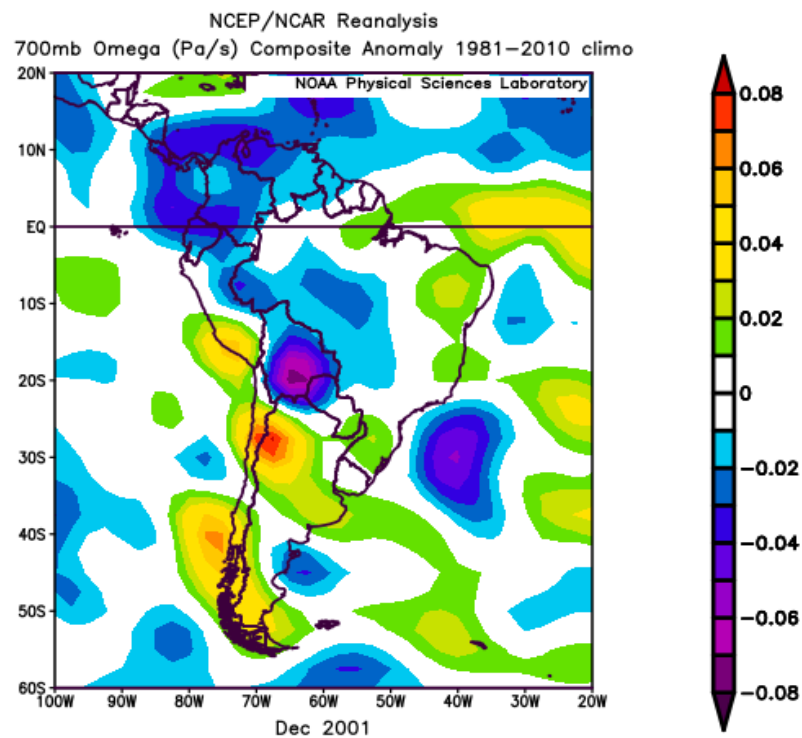


Figura 44. Ploteo correspondiente a anomalías de Omega ( $\Omega$ ) en 700mb. Sudamerica. Mes de diciembre, año 2001 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

#### 5.2.4 R59pT Marcos Juárez – 1990

Aquí se presenta la figura 45, correspondiente a anomalías durante el mes de diciembre de 1990.

En este caso (figura 45) podemos observar que la energía que provoca el evento de precipitación intenso registrado durante 1990 en Marcos Juárez, no está asociado a un proceso planetario. Por lo que su análisis podría estar alojado en la meso escala o microescala, excediendo los límites del presente trabajo, debido a esto el mismo fue desechado.

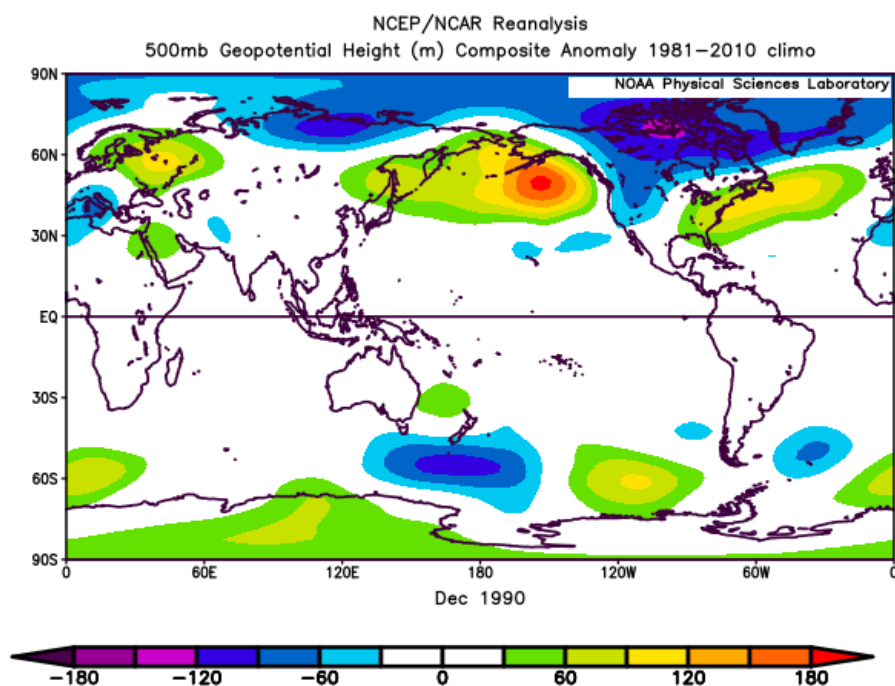


Figura 45. Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500mb. Año 1990 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

#### 5.2.5 R59pT Pilar – 1992

Para el caso de Pilar en el año 1992, la energía que cataliza el evento de precipitación también proviene de la denominada zona de los “storm tracks” (figuras 46 y 47). Lo cual no sorprende, ya que en la época estival se maximizan los flujos de momento y calor provenientes de bajas latitudes, los cuales se concentran en dicha zona mediante la actividad transiente de ciclones, que transfieren esta energía y momento hacia altas latitudes.

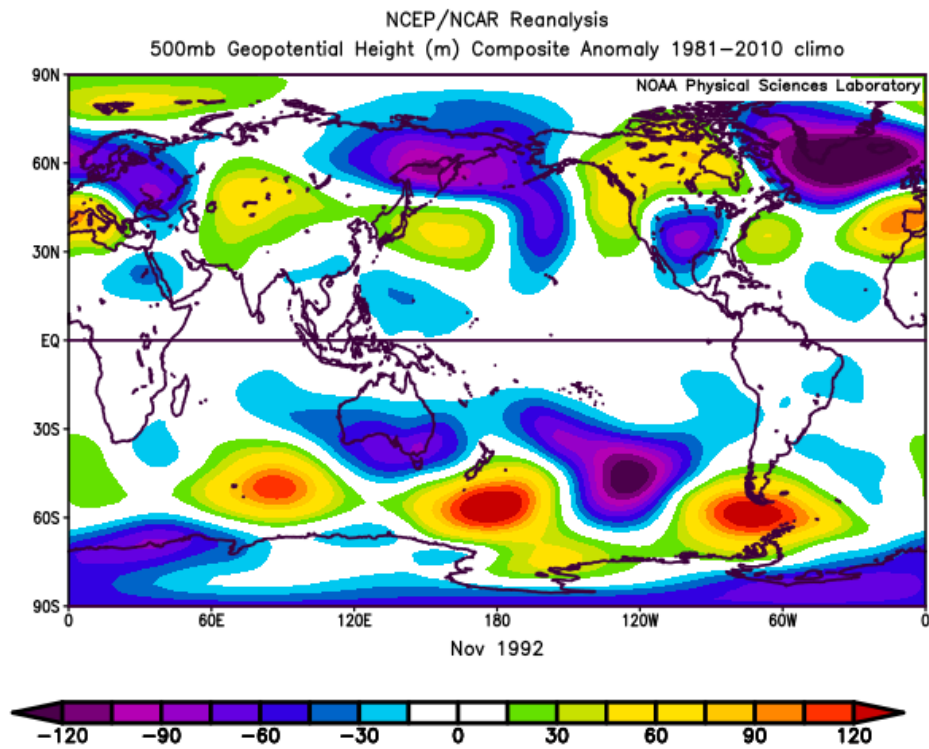


Figura 46. Ploteo correspondiente a anomalias de geopotencial en 500mb. Mes de noviembre, año 1992 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

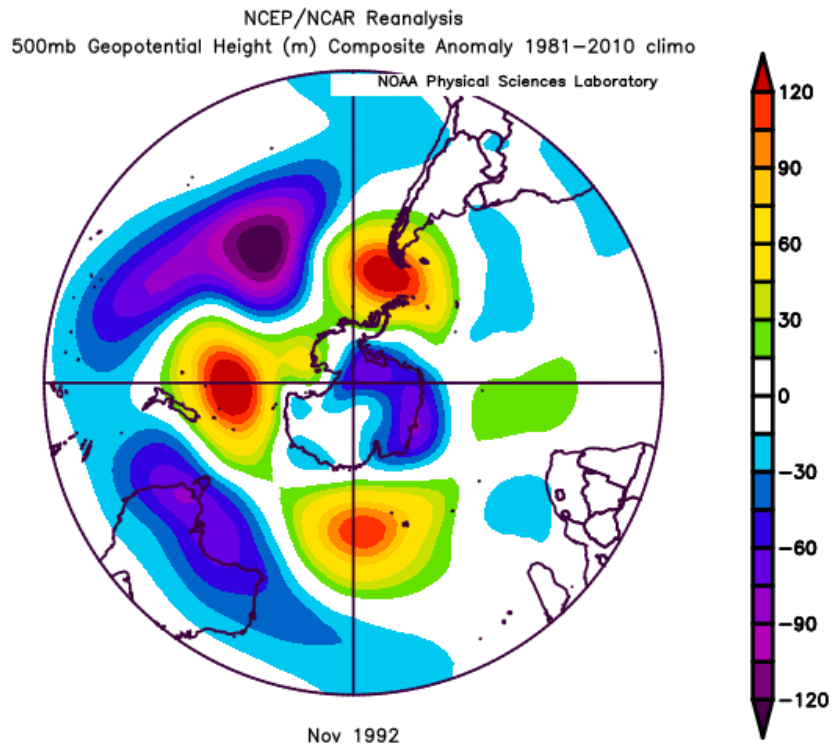


Figura 47. Ploteo correspondiente a anomalias de geopotencial en 500mb. Mes de noviembre año 1992 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

En este caso vemos que, si bien la energía proveniente de la perturbación se mueve hacia la Argentina, para el caso de noviembre la onda no penetra en las costas de Argentina, sino que desaparece en altas latitudes polares (figura 48), se denota por otro lado que la misma ocasiona importante actividad convectiva sobre la zona de la Patagonia, muy probablemente ocasionando que este frente frío avance hacia el centro de Argentina dando lugar a precipitaciones de carácter frontal.

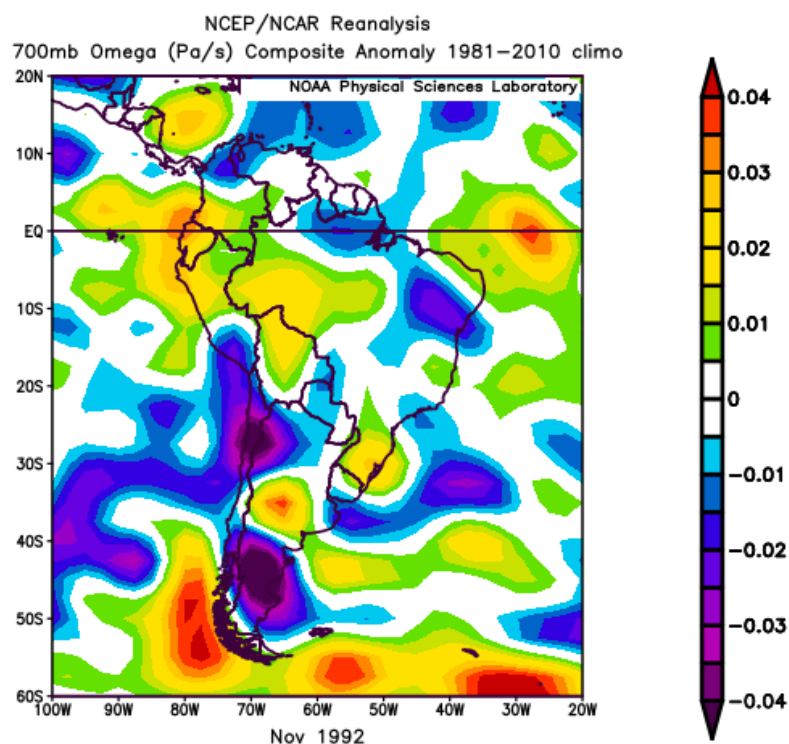


Figura 48. Ploteo correspondiente a anomalías de Omega ( $\Omega$ ) en 700mb. Mes de noviembre año 1992 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

### 5.2.6 R59pT Río Cuarto – 1999

Para la localidad de Río Cuarto se observa que el tren de ondas se dispara desde el Índico, posiblemente potenciado por la Oscilación de Madden Julian (evento no abordado aquí), y aunque llega hacia las costas de Argentina el mismo no posee la energía suficiente para generar condiciones de mal tiempo (Figura 49). Por lo que el análisis de la localidad de Río Cuarto también queda relegado a una escala no abordada en este trabajo.

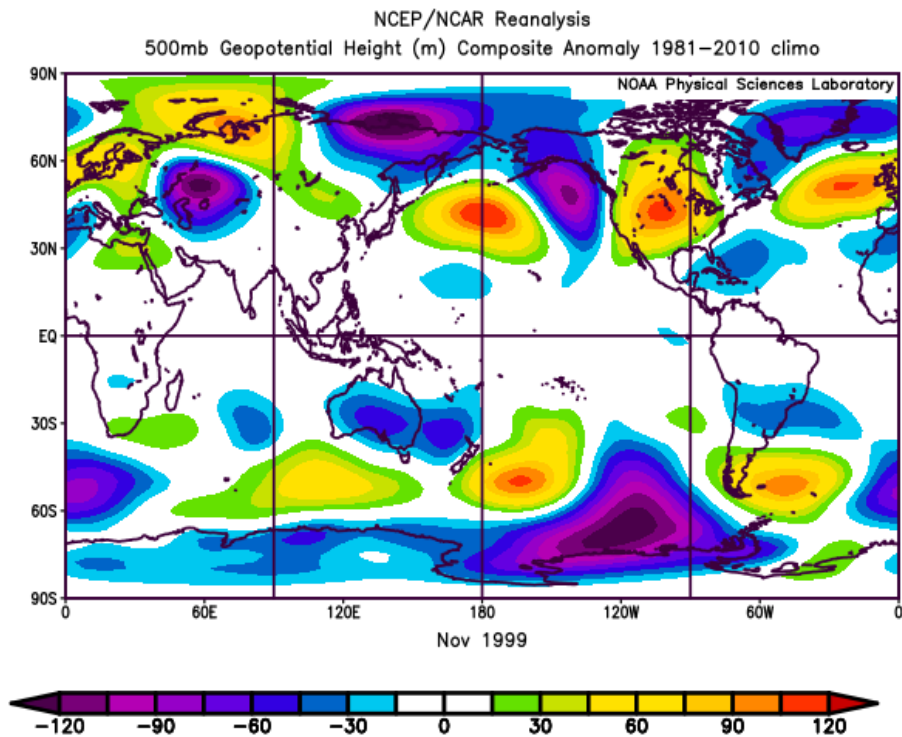


Figura 49. Ploteo correspondiente a anomalías de geopotencial en 500mb . Mes de noviembre año 1992 con respecto a promedio climatológico 1981-2010.

### 5.3 Análisis de correlación

Se realizó el análisis de correlación con diversos forzantes atmosférico-oceánicos los resultados se presentan en las tablas 7, 8 y 9.

Para determinar la incidencia de una oscilación como patrón de teleconexión los mismos deben estar en valores de R por encima de 0.5 mínimamente, como se observa (exceptuando la localidad de Río Cuarto con el índice DOI, que será abordada más adelante) los valores, aunque negativos o positivos, siempre son mucho más bajos que el umbral de tolerancia.

#### 5.3.1 Marcos Juárez Aero

En dicha estación existen grandes saltos en valores de precipitación para el periodo estudiado. Por esta razón Marcos Juárez fue descartado para realizar el análisis de correlaciones.

#### 5.3.2 Pilar Obs

Luego de obtener los gráficos de la tendencia filtrada, se obtuvieron las Tablas 7, 8 y 9 de correlación entre los valores de precipitación y los forzantes seleccionados para la localidad de Pilar.

Al observar que los valores de la tabla son menores a 0,5, se determina para la estación de Pilar Obs que no existe una correlación entre las diversas fases de los eventos analizados por los índices seleccionados y la variable precipitación.

Tabla 7. Correlación entre índice DOI y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).

<b>Corr S-O-N</b>	Lag -5	Lag -4	Lag -3	Lag -2	Lag -1	Lag -0
	-0,20	-0,30	-0,15	0,13	0,09	0,17
<b>Corr E-F-M</b>	Lag -5	Lag -4	Lag -3	Lag -2	Lag -1	Lag -0
	-0,07	-0,10	-0,10	-0,06	-0,13	-0,19

Tabla 8. Correlación entre índice ONI y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).

<b>Corr S-O-N</b>	Lag -5	Lag -4	Lag -3	Lag -2	Lag -1	Lag -0
	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,02
<b>Corr E-F-M</b>	Lag -5	Lag -4	Lag -3	Lag -2	Lag -1	Lag -0
	0,14	0,16	0,14	0,11	0,09	0,07

Tabla 9. Correlación entre índice SAM y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).

<b>Corr S-O-N</b>	Lag -5	Lag -4	Lag -3	Lag -2	Lag -1	Lag 0
	-0,24	0,07	-0,33	0,11	0,28	-0,01
<b>Corr E-F-M</b>	Lag -5	Lag -4	Lag -3	Lag -2	Lag -1	Lag 0
	0,15	-0,04	-0,07	-0,04	-0,05	-0,17

### 5.3.3 Río Cuarto Aero

Luego de obtener los gráficos de la tendencia filtrada, se obtuvieron las siguientes tablas de correlación entre los valores de precipitación y los forzantes seleccionados para la localidad de Río Cuarto.

Al analizar los valores de las Tablas, se desprende que no existe una correlación significativa entre las diversas fases de los eventos ONI Y SAM en la estación de Río Cuarto Aero y la variable precipitación ya que los valores son sumamente bajos.

Diferente es el caso del DOI que si posee señal en la localidad seleccionada con Lag 0. Es decir, existe una teleconexión atmosférica de carácter negativo débil para el fenómeno del DOI y la variable precipitación, esto se traduce en menores precipitaciones cuando el DOI está en fase positiva y mayores precipitaciones cuando el DOI se encuentra en fase negativa.

La mayoría de las oscilaciones presentan bajos valores de correlación con lo cual las mismas no poseen injerencia en los patrones de precipitación para la zona en estudio.

Con el fin de mejorar la comprensión de estos resultados se realizó la carga de las bases de datos provenientes de Pilar Obs, Marcos Juárez Aero y Río Cuarto Aero en la base de datos de NCEP NCAR de la NOAA, a fin de observar plasmado en un mapa los bajos valores de correlación sumamente bajos.

Tabla 10. Correlación entre índice DOI y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).

<b>Corr S-O-N</b>	<i>Lag -5</i>	<i>Lag -4</i>	<i>Lag -3</i>	<i>Lag -2</i>	<i>Lag -1</i>	<i>Lag -0</i>
	0,27	0,22	0,19	-0,07	-0,03	-0,20
<b>Corr E-F-M</b>	<i>Lag -5</i>	<i>Lag -4</i>	<i>Lag -3</i>	<i>Lag -2</i>	<i>Lag -1</i>	<i>Lag -0</i>
	-0,24	-0,17	-0,13	-0,12	-0,24	<b>-0,55</b>

Tabla 11. Correlación entre índice ONI y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).

<b>Corr S-O-N</b>	<i>Lag -5</i>	<i>Lag -4</i>	<i>Lag -3</i>	<i>Lag -2</i>	<i>Lag -1</i>	<i>Lag -0</i>
	0,27	0,21	0,20	0,20	0,21	0,21
<b>Corr E-F-M</b>	<i>Lag -5</i>	<i>Lag -4</i>	<i>Lag -3</i>	<i>Lag -2</i>	<i>Lag -1</i>	<i>Lag -0</i>
	-0,11	-0,09	-0,09	-0,12	-0,15	-0,14

Tabla 12. Correlación entre índice SAM y variable precipitación para los meses S-O-N y D-E-F con desfase (lag – 5 a 0).

<b>Corr S-O-N</b>	<i>Lag -5</i>	<i>Lag -4</i>	<i>Lag -3</i>	<i>Lag -2</i>	<i>Lag -1</i>	<i>Lag -0</i>
	-0,18	0,13	-0,26	-0,09	0,03	-0,03
<b>Corr E-F-M</b>	<i>Lag -5</i>	<i>Lag -4</i>	<i>Lag -3</i>	<i>Lag -2</i>	<i>Lag -1</i>	<i>Lag -0</i>
	-0,01	0,07	-0,01	0,07	0,01	0,02

A continuación, se muestran algunos ploteos de correlación a modo de ejemplo (Figuras 50, 51, 52 y 53) entre las series de tiempo. Estas figuras permiten establecer que la región central de Córdoba no posee ningún tipo de señal con las oscilaciones de ONI y SAM ya que las correlaciones son nulas o de muy bajo valor.

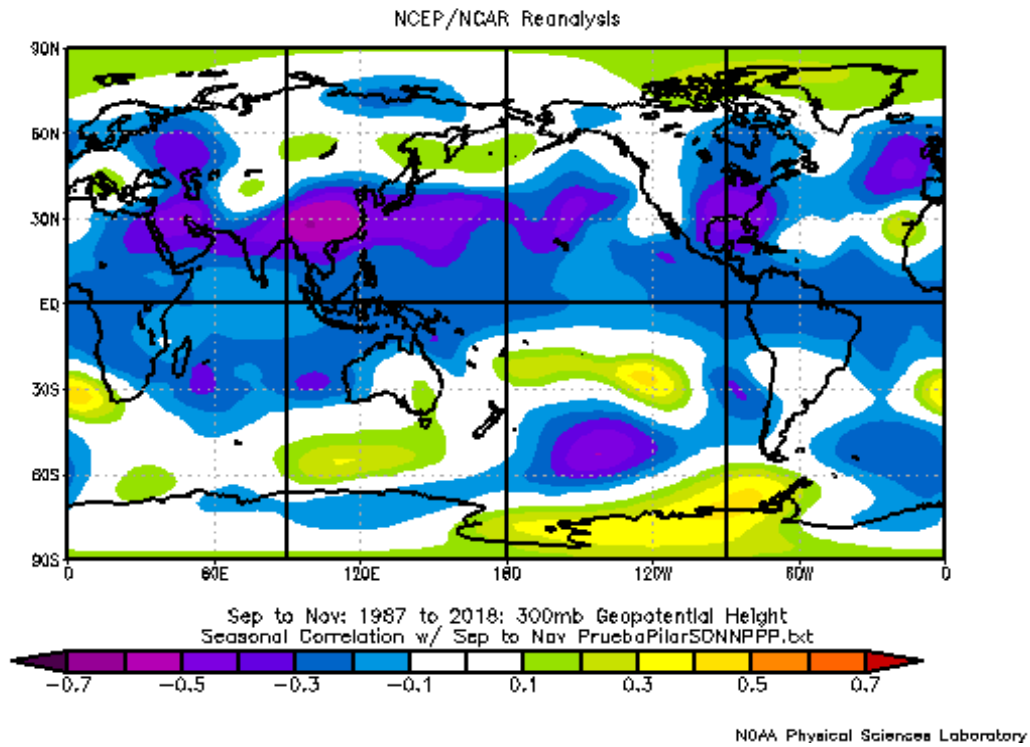


Figura 50. Ploteo correspondiente a correlacion entre geopotencial en 300mb e indice ONI para el periodo SON. Para el periodo 1987-2018.

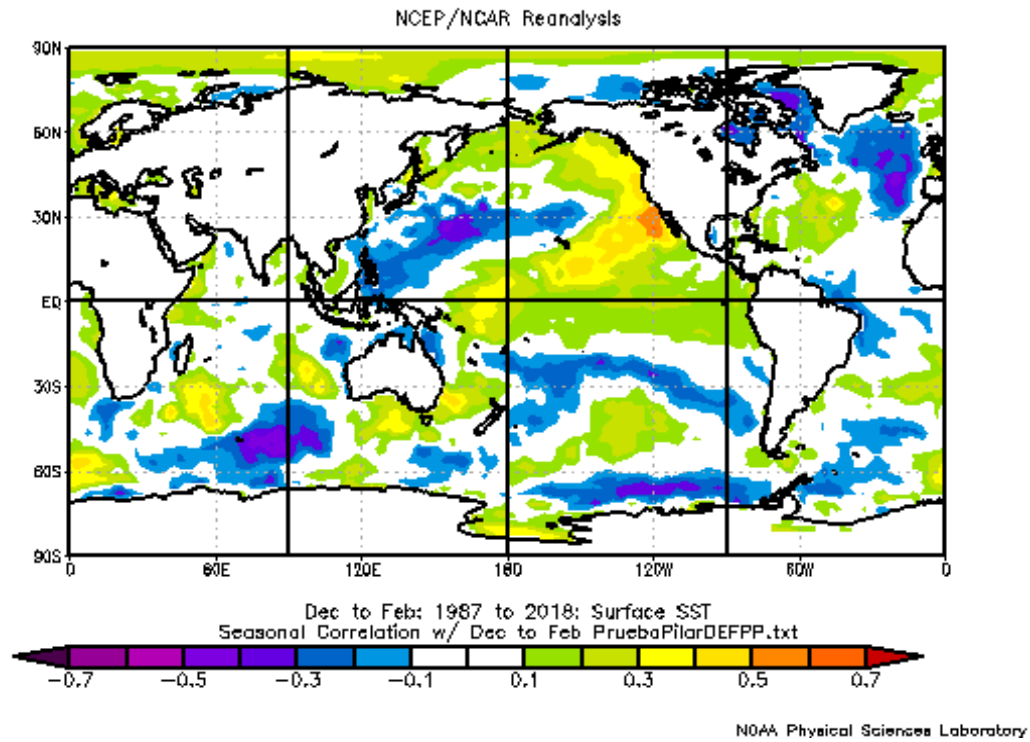


Figura 51. Ploteo correspondiente a correlacion entre geopotencial en 300mb e indice SAM para el periodo DEF. Para el periodo 1987-2018.

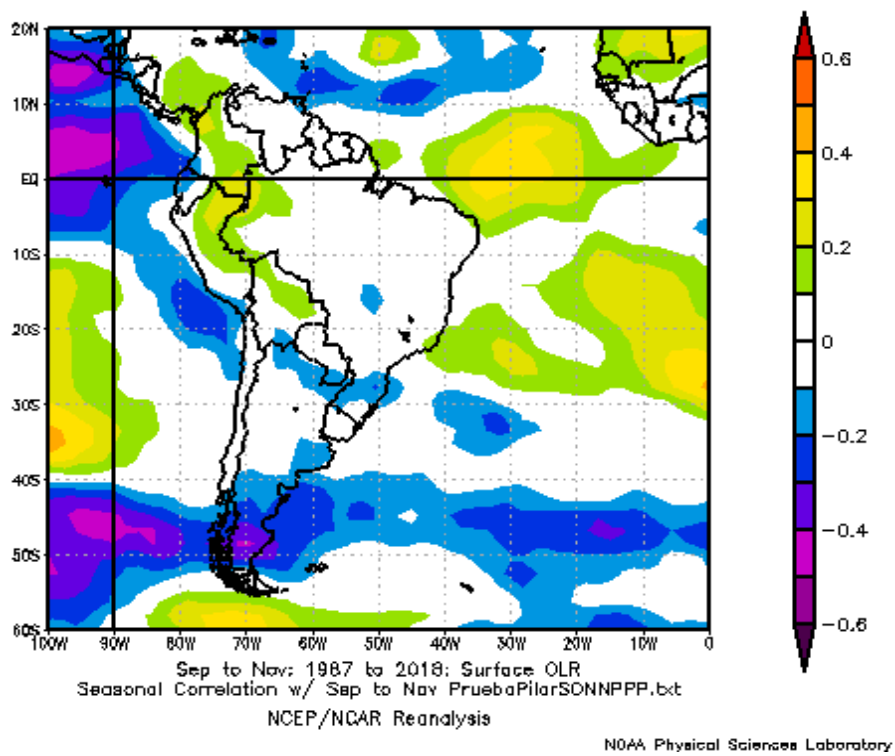


Figura 52. Ploteo correspondiente a correlacion entre OLR en 700mb e indice ONI para el periodo SON. Para el periodo 1987-2018.

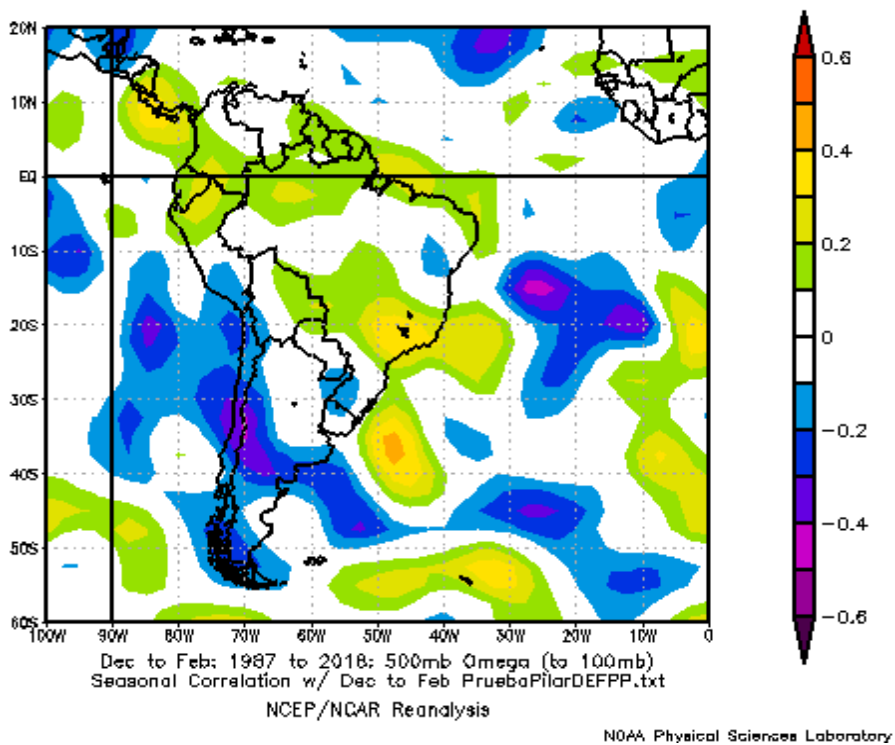


Figura 53. Ploteo correspondiente a correlacion entre  $\Omega$  en 500mb e indice SAM para el periodo SON. Para el periodo 1987-2018.

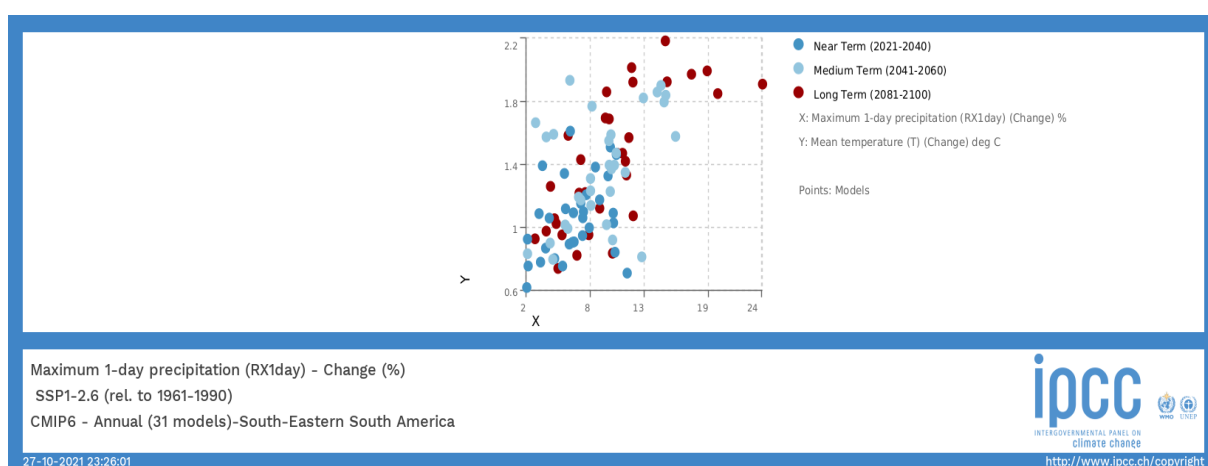
## 5.4 Proyecciones a Futuro

A través de la herramienta para análisis espaciales y temporales sobre el cambio climático proyectada, que sustenta la contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación IPCC (2021), se seleccionaron las siguientes imágenes que representan el escenario climático futuro en la zona de estudio (Figuras 54, 55, 56 y 57).

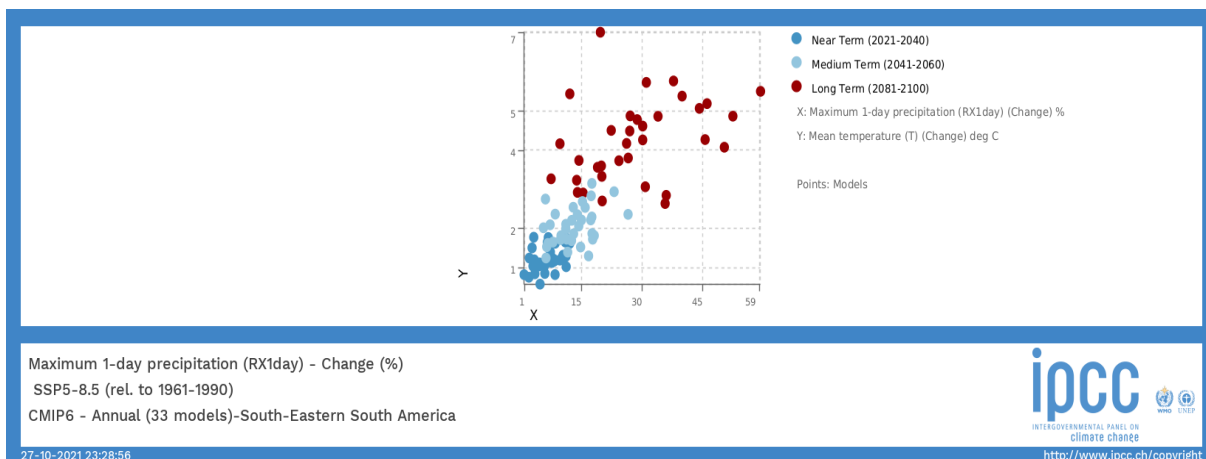
En la Figura 54 se observa el índice RX1 (cantidad máxima de precipitación de 1 día). El mismo para un futuro cercano (2021-2040) con bajas emisiones, si la temperatura aumenta entre un 1,4 y 1,8°C se esperan precipitaciones que experimenten un aumento entre los 8 y 13mm diarios. Mientras que para un futuro lejano (2081-2100), si la temperatura aumenta entre 1,8 y 2,2°C las precipitaciones diarias experimentarán aumentos entre los 19 y 24 mm diarios. Por lo que se espera un fuerte impacto de los fenómenos extremos sobre las poblaciones.

Para un escenario de altas emisiones se observa que en un mediano plazo (2041-2060), el aumento de temperatura rondaría entre los 2°C y 4°C, y las precipitaciones serán entre 15 mm y 30 mm mas altas que el promedio diario de base (1961-1990), mientras que, en un futuro lejano (2081-2100) con un aumento de temperatura entre 5°C y 7°C, el aumento de las precipitaciones diarias estaría entre los 45 mm y 59 mm por encima del promedio de base.

En las Figuras 54 y 55 se observa que ambos escenarios presentarían serias dificultades para la gestión del riesgo del desastre, lo que podría acarrear grandes desafíos para las áreas urbanizadas y los sectores productores de alimentos (IPCC, 2014).

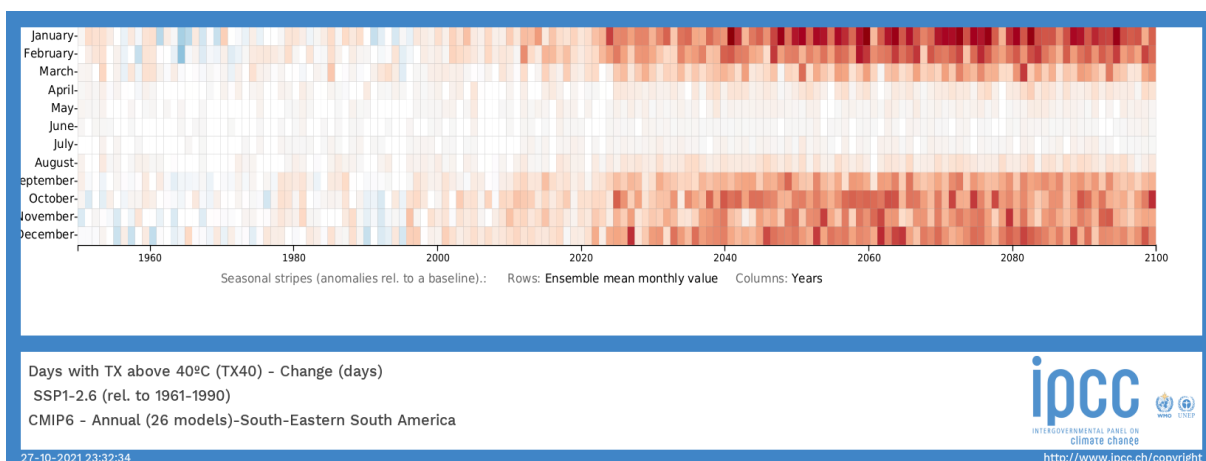


*Figura 54. RX1 Futuro cercano y lejano. Escenario de emisiones SSP 2.6. Fuente: Elaboración propia en base a IPCC, 2021.*



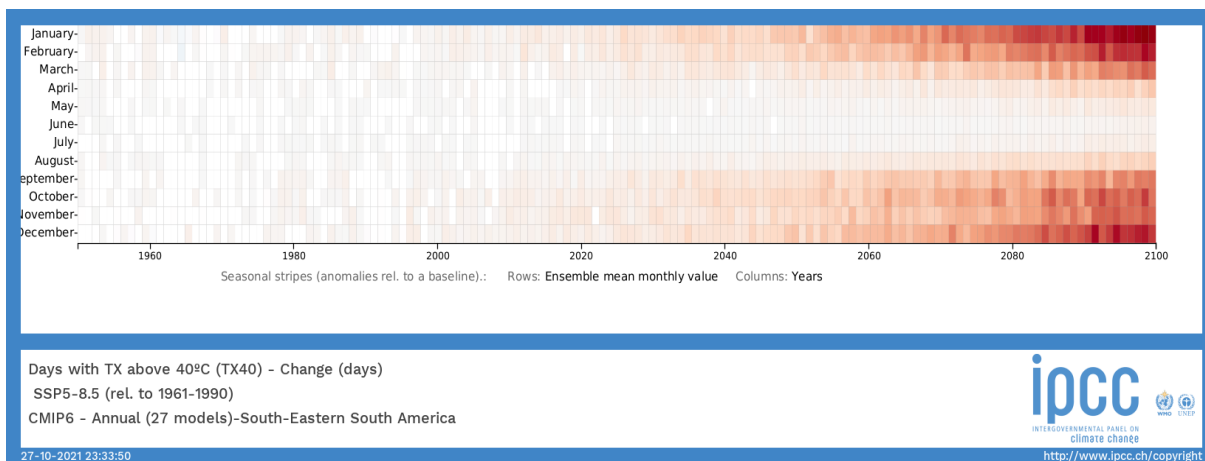
**Figura 55.** *RX1 Futuro lejano y cercano. Escenario de emisiones SSP 8.5. Fuente: Elaboración propia en base a IPCC, 2021.*

La Figura 56 muestra el número de días con temperatura máxima superior a 40°C (TX40). En la misma se observa que para un escenario de bajas emisiones TX40 se espera que en el futuro lejano se experimente un aumento moderado de días con temperaturas superiores a 40°C donde los días mas cálidos se registrarán en épocas mas tempranas, disminuyendo así la cantidad de días con bajas temperaturas



**Figura 56.** *TX40 Futuro lejano y cercano. Escenario de emisiones SSP 2.6. Fuente: Elaboración propia en base a IPCC, 2021.*

Observando la imagen de la Figura 57, con un escenario de altas emisiones, el número de días con temperatura máxima superior a 40°C aumentará drásticamente hacia fines de siglo 2060-2100. Por otro lado, se observa una disminución marcada de días fríos, donde las temperaturas mayores a 40°C se presentan en meses como agosto o abril exponiendo así un cambio rotundo en la temperatura media.



*Figura 57. TX40 Futuro lejano y cercano. Escenario de emisiones SSP 8.5. Elaboración propia en base a IPCC, 2021.*

## 6. CONCLUSIONES

Se observa un aumento sostenido en la ocurrencia de los eventos extremos de temperatura y precipitación. Para los primeros se observa la escalada en los valores de temperatura máxima (mínima) a lo largo de las décadas analizadas, lo que conlleva a pensar en eventos de olas de calor y noches tropicales más persistentes en el tiempo y de mayor intensidad. Lo cual trae consigo grandes desafíos en torno a caminos de adaptación que deben combinarse con soluciones de carácter integral para mitigar los efectos nocivos de estos fenómenos.

Para el caso de los eventos extremos de precipitación la tendencia también sigue una pendiente positiva, aunque el comportamiento de esta variable es opuesto (no por ello menos peligroso), ya que las precipitaciones aumentan a lo largo del periodo analizado en sus valores, pero se concentran en menor cantidad de días, lo cual plantea un serio problema hacia el futuro cercano.

Se consta que la ocurrencia de estos eventos no está asociada a oscilaciones como “El Niño Oscilación del Sur” en la región 3.4 o del “Modo Anular del Sur” en las 3 estaciones estudiadas. La única oscilación que presenta señal levemente negativa es el Dipolo del Indico en la estación de Río Cuarto, comportándose de manera negativa.

Las proyecciones del Conjunto de modelos interacoplados del IPCC (CMIP6) permitirían prever que a futuro la frecuencia e intensidad de los eventos extremos aumenten, aunque en mayor intensidad de acuerdo con el escenario de emisión de gases de efecto invernadero. Cabe destacar que, aunque el escenario se proyecte como de bajas emisiones, los eventos extremos de temperatura y precipitación seguirán en aumento, debido a que las concentraciones de emisiones responden a procesos que poseen escalas de tiempo muy superiores a la vida humana promedio. Por lo que, estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero a valores que estén por debajo de los registrados en los años 80 o 90 podría llevar varias décadas.

## **7. CONSIDERACIONES FINALES**

Se debe continuar con el estudio de otros índices del programa que podrían robustecer el análisis realizado en dicho trabajo final de grado. Por otro lado, la información brindada en el presente trabajo contribuye a llenar un vacío que se debe suplir para el diseño de planes de adaptación en el área cercana a las localidades estudiadas.

## 8. REFERENCIAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In: United Nations FAO, Irrigation and drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.
- Boulanger, J. P., Leloup, J., Penalba, O., Rusticucci, M., Lafon, F., & Vargas, W. (2005). Observed precipitation in the Paraná-Plata hydrological basin: long-term trends, extreme conditions and ENSO teleconnections. *Climate dynamics*, 24(4), 393-413.
- Carril AF, Cavalcanti IFA, Menéndez CG, Sörensson A, López-Franca N, Rivera J, Robledo F, Zaninelli P, Ambrizzi T, Penalba O, da Rocha R, Sánchez E, Bettolli M, Pessacg N, Renom M, Ruscica R, Solman S, Tencer B, Grimm A, Rusticucci M, Cherchi A, Tedeschi R, Zamboni L. (2016). Extreme events in the La Plata basin: a retrospective analysis of what we have learned during CLARIS-LPB project. *Clim. Res.* 68: 95–116.
- Cavalcanti IFA, Carril AF, Penalba OC, Grimm AM, Menéndez CG, Sanchez E, Chechi A, Sörensson A, Robledo F, Rivera J, Pántano V, Betolli LM, Zaninelli P, Zamboni L, Tedeschi RG, Dominguez M, Ruscica R, Flach R. (2015). Precipitation extremes over La Plata Basin – review and new results from observations and climate simulations. *J. Hydrol.* 523: 211–230–211–23.
- Donat, M.G.; Alexander, L.; Yang, H.; Durre, I.; Vose, R.; Caesar, J. (2013). Global land-based datasets for monitoring climatic extremes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 94, 997-1006. [http:// dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00109.1](http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00109.1).
- DREF Bulletin No MDRAR002. Update No1, 19 June, (2007). Argentina: Flooding. Disponible en [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/CAF67F4BF2A21F4E49257300004747B- Full\\_Report.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/CAF67F4BF2A21F4E49257300004747B- Full_Report.pdf). Consultado: 05/abr/2021.
- Gutiérrez, J.M., R.G. Jones, G.T. Narisma, L.M. Alves, M. Amjad, I.V. Gorodetskaya, M. Grose, N.A.B. Klutse, S. Krakovska, J. Li, D. Martínez-Castro, L.O. Mearns, S.H. Mernild, T. Ngo-Duc, B. van den Hurk, and J.-H. Yoon, 2021: Atlas. In *Climate Change (2021). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. Interactive Atlas available from Available from <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>.
- IPCC, 2021: *Climate Change (2021). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S.

- Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press. In Press.
- López, I., y Etulain, J. C., (2017). Inundaciones urbanas: mapas de riesgo y lineamientos de ordenamiento urbano territorial. Las inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada: análisis de riesgo, estrategias de intervención. Hacia la construcción de un observatorio ambiental. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/59633>.
  - Lovino, M. A., Müller, G. V., & Sgroi, L. C. (2020). ¿Cómo ha cambiado la precipitación en la provincia de Santa Fe? Ediciones INTA.
  - Lovino, M. A., Müller, O. V., Berbery, E. H., & Müller, G. V. (2018). Evaluation of CMIP5 retrospective simulations of temperature and precipitation in northeastern Argentina. *International Journal of climatology*, 38, e1158-e1175.
  - Lovino, MA, Müller, OV, Berbery, EH y Müller, GV (2018). ¿Cómo han cambiado los extremos climáticos diarios en el pasado reciente en el noreste de Argentina? *Cambio planetario y global*. 168, 78-97.
  - Magrin, G.O.; Marengo, J.A.; Boulanger, J.-P.; Buckeridge, M.S.; Castellanos, E.; Poveda, G.; Scarano, F.R.; Vicuña, S. 2014. Central and South America. En: Barros, V.R.; Field, C.B.; Dokken, D.J.; Mastrandrea, M.D.; Mach, K.J.; Bilir, T.E.; Chatterjee, M.; Ebi, K.L.; Estrada, Y.O.; Genova, R.C.; Girma, B.; Kissel, E.S.; Levy, A.N.; Maccracken, S.; Mastrandrea, P.R.; White, L.L. (Eds.). *Climate Change (2014). Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EUA. 1499-1566 pp.
  - Merlinsky, M. G. y Tobías, M. A., (2016). Inundaciones y construcción social del riesgo en Buenos Aires: Acciones colectivas, controversias y escenarios de futuro. *Cuadernos del CENDES*, 33(91), 45-63.
  - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2020). Linear Correlations in Atmospheric Seasonal/Monthly Averages. Consultado 18/04/2021, Disponible en: <https://www.psl.noaa.gov/data/correlation/>.
  - R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
  - Robledo, F. A., Penalba, O. C., & Bettolli, M. L. (2013). Teleconnections between tropical-extratropical oceans and the daily intensity of extreme rainfall over Argentina. *International journal of climatology*, 33(3), 735-745.
  - Rusticucci, M. y Barrucand, M. (2001): "Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de extremos", en *Meteorológica*, nº 26, pp. 69-83.

- Seneviratne, S.I.; Nichols, N.; Easterling, D.; Goodess, C.M.; Kanae, S.; Kossin, J.; Luo, Y.; Marengo, J.; McInnes, K.; Rahimi, M.; Reichstein, M.; Sorteberg, A.; Vera, C.; Zhang, X. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. En: Field, C.B.; Barros, V.; Stocker, T.F.; Qin, D.; Dokken, D.J.; Ebi, K.L.; Mastrandrea, M.D.; Mach, K.J.; Plattner, G.K.; Allen, S.K.; Tignor, M.; Midgley, P.M. (Eds.), A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EUA. 109-230 pp.
- Vionnet, C. A., Tassi, P. A., Rodriguez, L. B., & Ferreira, C. G., (2006). Numerical modelling of the catastrophic flooding of Santa Fe City, Argentina. *International Journal of River Basin Management*, 4(4), 301-314.

## 9. ANEXO

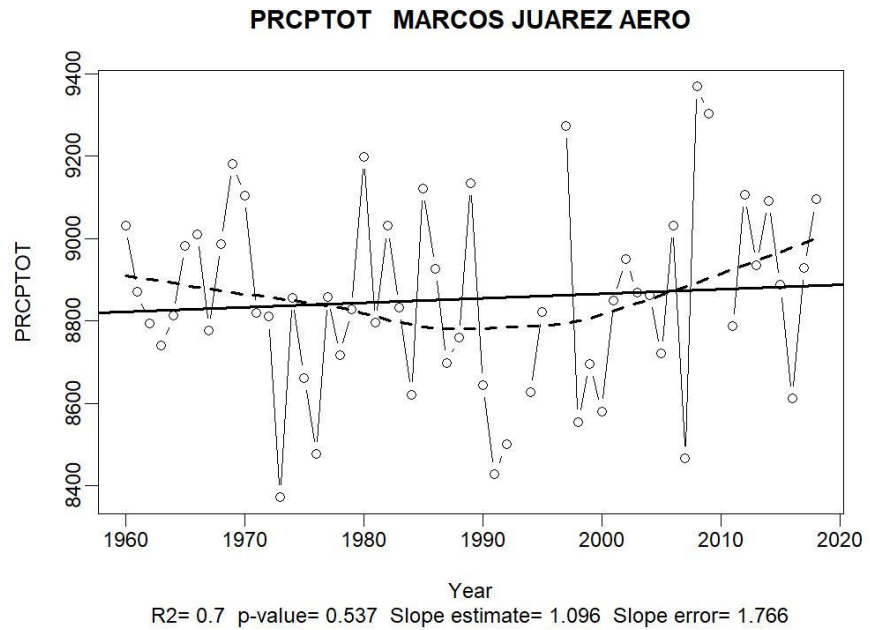


Figura 1: precipitación total modelada mediante paquete Climdex de R studio Marcos Juárez Aero, periodo 1960-2018.

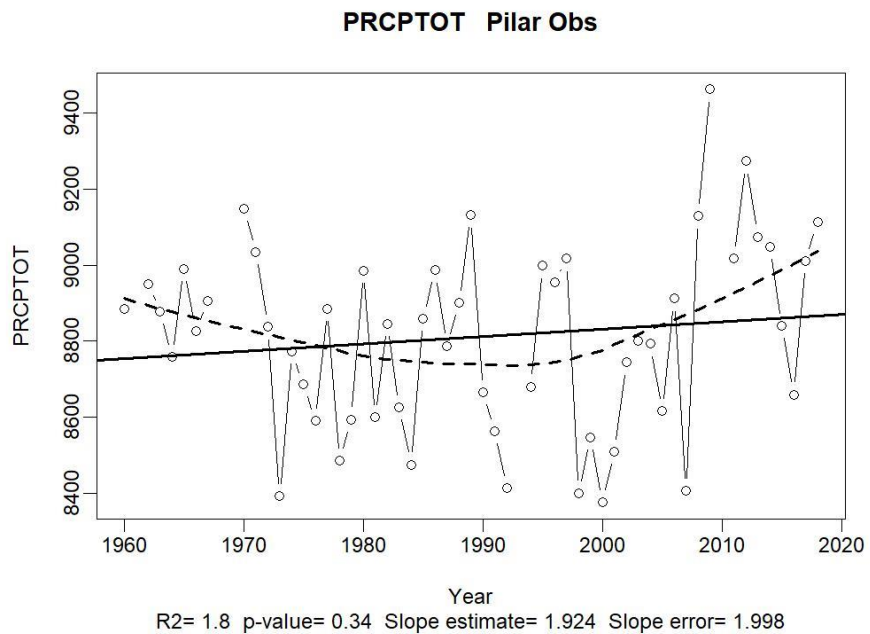


Figura 2: precipitación total modelada mediante paquete Climdex de R studio Pilar Obs, periodo 1960-2018.

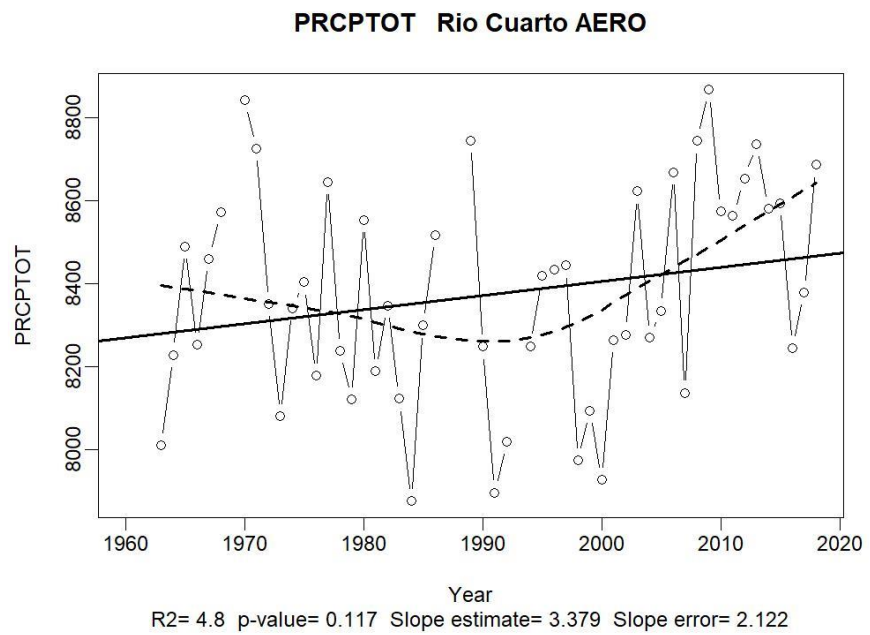


Figura 3: precipitación total modelada mediante paquete Climdex de R studio Rio Cuarto Aero, periodo 1960-2018.

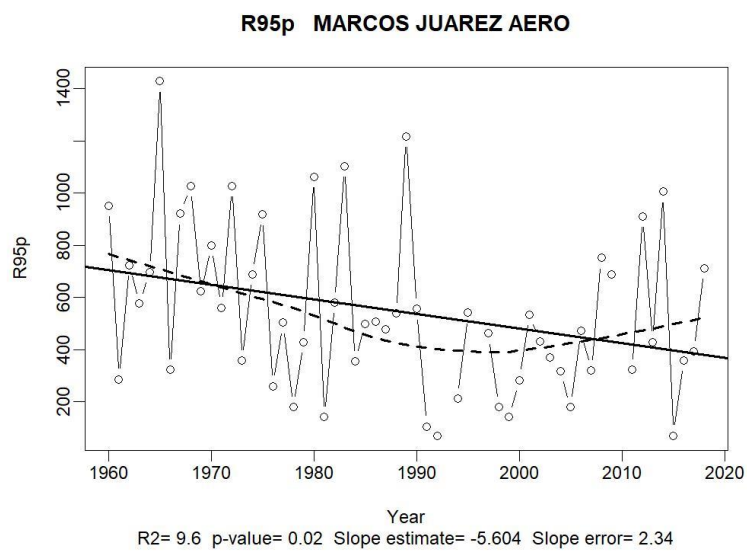


Figura 4: precipitación en casos donde se superó el P95 modelada mediante paquete Climdex de R studio Marcos Juárez Aero, periodo 1960-2018.

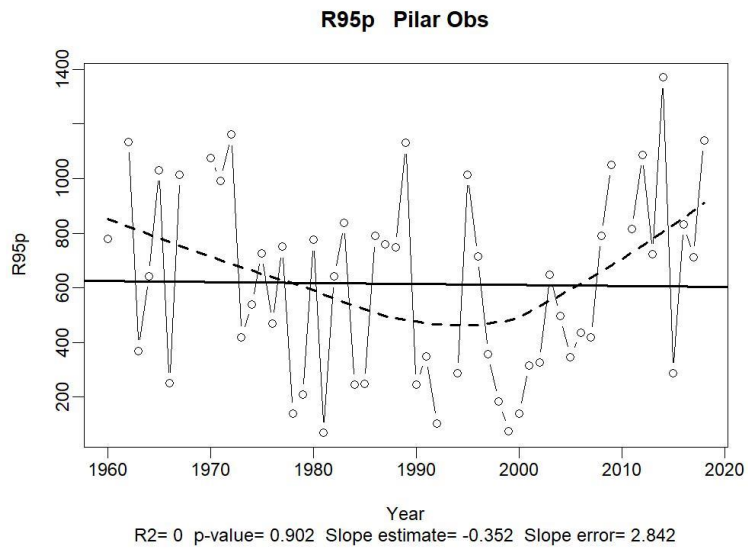


Figura 5: precipitación en casos donde se superó el P95 modelada mediante paquete Climdex de R studio Pilar Obs, periodo 1960-2018.

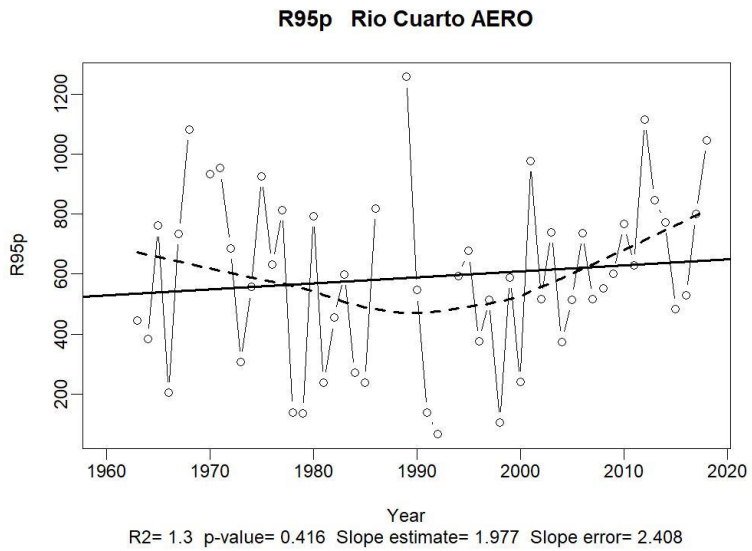


Figura 6: precipitación en casos donde se superó el P95 modelada mediante paquete Climdex de R studio Río Cuarto Aero, periodo 1960-2018.

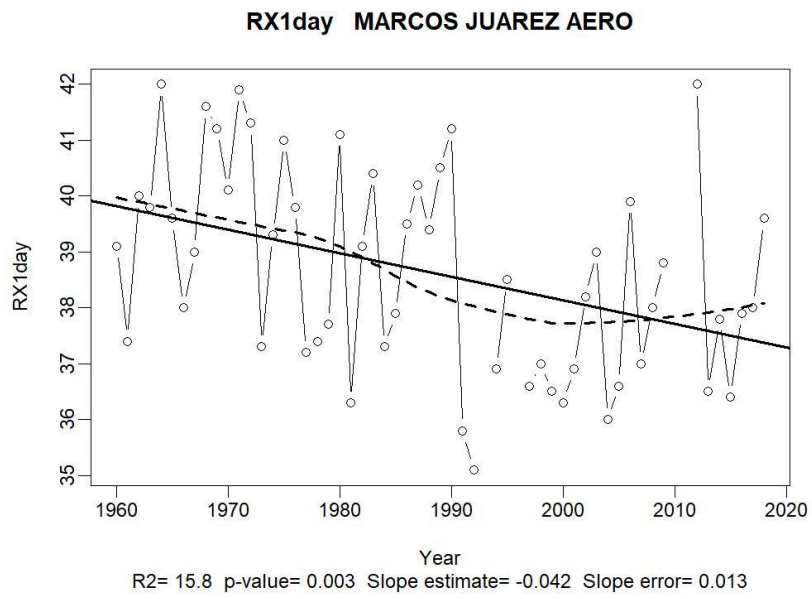


Figura 7: precipitación máxima al día, modelada mediante paquete Climdex de R studio Marcos Juárez Aero, periodo 1960-2018.

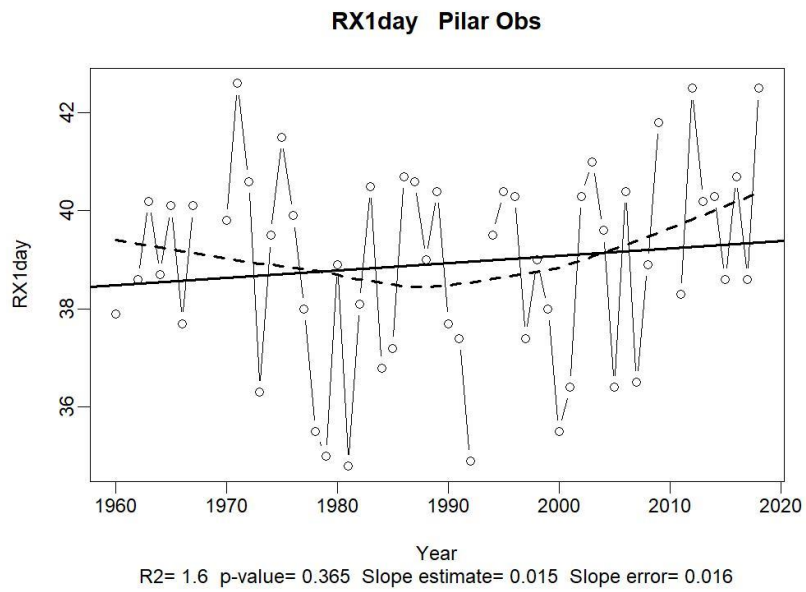


Figura 8: precipitación máxima al día, modelada mediante paquete Climdex de R studio Pilar Obs, periodo 1960-2018.

### RX1day Rio Cuarto AERO

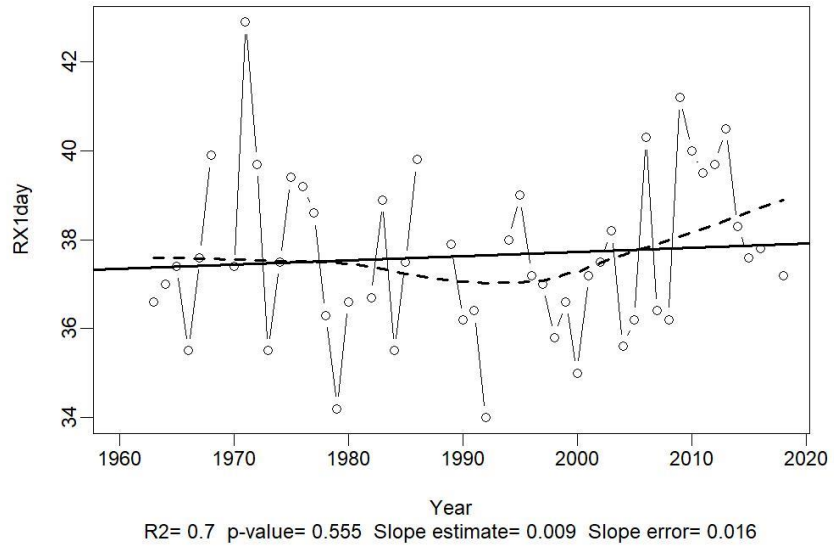


Figura 9: precipitación máxima al día, modelada mediante paquete Climdex de R studio Río Cuarto Aero, periodo 1960-2018.