

# TENDENCIAS MENSUALES DE LOS INDICES DE EXTREMOS DE TEMPERATURA Y SU RELACIÓN CON LA POSICIÓN DECADAL MEDIA DE LOS ANTICICLONES SEMIPERMANENTES

Soledad Collazo<sup>1</sup>, Mariana Barrucand<sup>1,2,3</sup>, Matilde Rusticucci<sup>1,2,3</sup>  
[barrucand@at.fcen.uba.ar](mailto:barrucand@at.fcen.uba.ar)

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEyN UBA

<sup>2</sup>CONICET

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

## RESUMEN

El estudio de los eventos extremos es de vital importancia debido a sus impactos socioeconómicos. En el siguiente trabajo se estudiaron las tendencias lineales de cuatro índices de temperaturas extremas evaluando su significancia estadística para la región central de la Argentina en el periodo 1970-2010. Se encontró una disminución de las noches frías (extremos fríos de la temperatura mínima) en Marzo, Octubre y Noviembre; un incremento de las noches cálidas (extremos cálidos de la temperatura mínima) en Noviembre; una disminución de los días fríos (extremos fríos de la temperatura máxima) en Marzo, Junio y Octubre; y un aumento de los días cálidos (extremos cálidos de la temperatura máxima) en Agosto, Octubre y Noviembre.

Con el fin de encontrar posibles variaciones en la circulación de gran escala asociadas con estas tendencias, se estudiaron los cambios decadales de la posición de los anticiclones semipermanentes del hemisferio sur, hallando un fuerte corrimiento sistemático hacia el oeste del Anticiclón del Atlántico Sur con el transcurso de las décadas en los meses de Junio y Agosto que favorecen las advecciones cálidas y húmedas sobre la región de estudio.

**Palabras clave:** eventos extremos, temperatura, anticiclones

## ABSTRACT

The study of extreme events is vital because of its socioeconomic impacts. In this paper, the linear trends of four temperature extreme index were studied, considering their statistical significances for the central region of Argentina in the period 1970-2010. It was found a decrease in cold nights (cold extremes of minimum temperature) in March, October and November; an increase in warm nights (warm extremes of minimum temperature) in November; a decrease in cold days (cold extremes of maximum temperature) in March, June and October; and an increase in warm days (warm extremes of maximum temperature) in August, October and November.

In order to relate large scale circulation to the observed trends, the position of the South Atlantic anticyclone was studied. It has been found a strong shift to the west in June and August, favoring warm and wet advection over the studied region.

**Keywords:** extreme events, temperature, anticyclones

## 1) INTRODUCCIÓN

La sociedad se ve afectada por los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. La naturaleza y la gravedad de sus impactos no dependen solamente de la intensidad de los mismos, sino también de la exposición y la vulnerabilidad de la sociedad afectada. El IPCC, ya en su tercer informe de evaluación (Houghton y otros, 2001), indica que los impactos del cambio climático serán particularmente advertidos a través de cambios en los eventos extremos, y esos cambios son extremadamente importantes debido a que ellos podrán causar tensión o exceder nuestras adaptaciones presentes a la variabilidad climática.

Aunque los extremos de temperatura son generalmente menos estudiados que los extremos de precipitación, hay un creciente interés en evaluar su variabilidad. El primer paso fue disponer de series de datos confiables y extensas, con pocos datos faltantes, para establecer la existencia de un cambio o variabilidad en el clima. En Argentina, Rusticucci y Barrucand (2001) desarrollaron un estudio sobre la variabilidad de los valores medios, desviaciones estándar y asimetrías de las temperaturas máximas y mínimas de verano e invierno para gran cantidad de estaciones meteorológicas distribuidas por toda la Argentina, que comenzó con un control de alta calidad de los datos, ya que los mismos no habían sido utilizados previamente en estudios climáticos de este tipo. En Barrucand y Rusticucci (2001) se estudió la variabilidad de la frecuencia de ocurrencia de extremos cálidos y fríos, diarios, en verano e invierno. Parte de esta información fue utilizada en un estudio a escala continental (Vincent y otros, 2005), en el que se presentan las tendencias de algunos índices de temperaturas extremas en Sudamérica. En este trabajo no se encontraron cambios consistentes en los índices basados en la temperatura máxima en el continente, aunque sí en la temperatura mínima, mostrando aumentos en el porcentaje de noches cálidas y disminución en el porcentaje de noches frías para el periodo 1960-2000.

Además, Rusticucci y Barrucand (2004) analizaron las tendencias en la media, desviación estándar y extremos de temperatura máxima y mínima de verano e invierno, y encontraron valores de tendencias negativas en el número de noches frías y días cálidos en el verano, mientras que en el invierno no observaron un patrón definido. Posteriormente, Barrucand (2008) mostró que el invierno presenta una destacada variabilidad intermensual en la región central del país. Al aplicar la teoría de valores extremos a las temperaturas, Tencer y Rusticucci (2012) mostraron que hay una disminución en la intensidad de eventos extremos cálidos junto con un incremento en su frecuencia de ocurrencia, en la segunda mitad del siglo pasado.

En Rusticucci (2012) se realizó un resumen de varios trabajos que estudiaron la variabilidad de extremos de temperatura en Sudamérica. Se encontró que un gran número de estudios coinciden en que las tendencias más significativas ocurren en los índices de la temperatura mínima, con tendencias positivas en la ocurrencia de noches cálidas y tendencias negativas de las noches frías.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, en este trabajo se propone avanzar en el análisis del comportamiento de las temperaturas extremas en Argentina, considerando especialmente la región central. Se incorpora un mayor número de estaciones en la región, se extiende temporalmente el período analizado (hasta años más recientes) y se buscan algunas señales de la circulación que pudieran estar asociados a los cambios observados a escala decadal. Este análisis se realiza para cada uno de los doce meses del año.

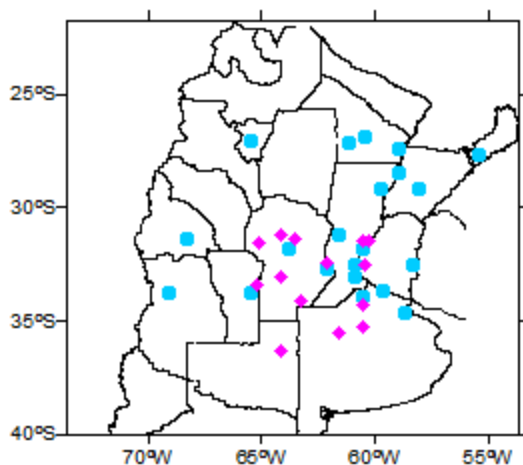
En la sección 2 se explicarán las metodologías para el cálculo de las tendencias y su testeo estadístico, en la sección 3 se mostrarán los resultados de las tendencias de los índices en forma gráfica y se

analizarán los cambios en la posición de los anticiclones y en la sección 4 se realizará un sumario y se presentarán las conclusiones.

## 2) METODOLOGÍA

Se utilizaron datos de 33 estaciones meteorológicas convencionales provistos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) a través de su página web <http://siga2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos/>, de las cuales fueron retenidas 21 estaciones que poseían menos del 10% de datos faltantes en el periodo coincidente de las bases de datos, 1970-2010 (Fig. 1), encontrándose mayormente distribuidas en el Litoral Argentino. Posteriormente fueron agregadas 15 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en la región central del país con el objetivo de tener un mayor panorama del comportamiento de los extremos de temperatura en esta zona de la Argentina, de vital importancia para la producción agropecuaria (Fig. 1).

Empleando el software de acceso libre R-Climdex, disponible en la página web: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>, se realizó el control de calidad para cada una de las estaciones, chequeándose en todos los casos que la temperatura máxima fuera superior a la mínima. Además, se encontraron algunos outliers que fueron evaluados individualmente observando datos de días previos y posteriores de la temperatura y comparando con datos de estaciones cercanos, debido a la homogeneidad de la variable.



**Figura 1: Estaciones del INTA utilizadas con menos del 10% de datos faltantes (celeste) y estaciones del SMN de la región central del país (rosa).**

Luego, del análisis de los outliers se procedió a calcular los cuatro índices de extremos de temperatura en forma mensual, acordes con los que la literatura internacional ha adoptado, basados en las recomendaciones del WMO Joint Commission for Climatology (CCI) / CLIVAR / JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI): noches frías (TN 10), porcentaje de días con temperatura mínima inferior al percentil 10; noches cálidas (TN 90), porcentaje de días con temperatura mínima superior al percentil 90; días fríos (TX 10), porcentaje de días con temperatura máxima inferior al percentil 10 y días cálidos (TX 90), porcentajes de días con temperatura máxima superior al percentil 90. Los percentiles utilizados en la construcción de los índices

fueron calculados considerando el periodo base 1981-2010.

En cuanto a la distribución estadística de los índices de extremo de temperatura, en la tesis doctoral de Barrucand (2008) se muestra de que a pesar de que las series no tengan estrictamente una distribución normal para un nivel de significancia del 10%, presentan características que hacen que la distribución no sea “excesivamente lejana” a la misma, tales como su condición de distribución unimodal, la media muy cercana a la mediana, entre otros aspectos.

Las tendencias calculadas para el periodo 1970-2010 fueron testeadas con un test de hipótesis sobre las pendientes ( $\beta$ ), que asume normalidad, con una significancia del 5 y 10%. También, se testearon con el

test no paramétrico de Kendall-tau obteniendo resultados similares.

### 3) RESULTADOS

#### 3.1 Variabilidad de extremos de temperatura durante el período 1970-2010

Para cada uno de los índices de extremos de temperatura y para cada mes del año, se calcularon y testearon las tendencias de los mismos con una significancia del 5 y 10%.

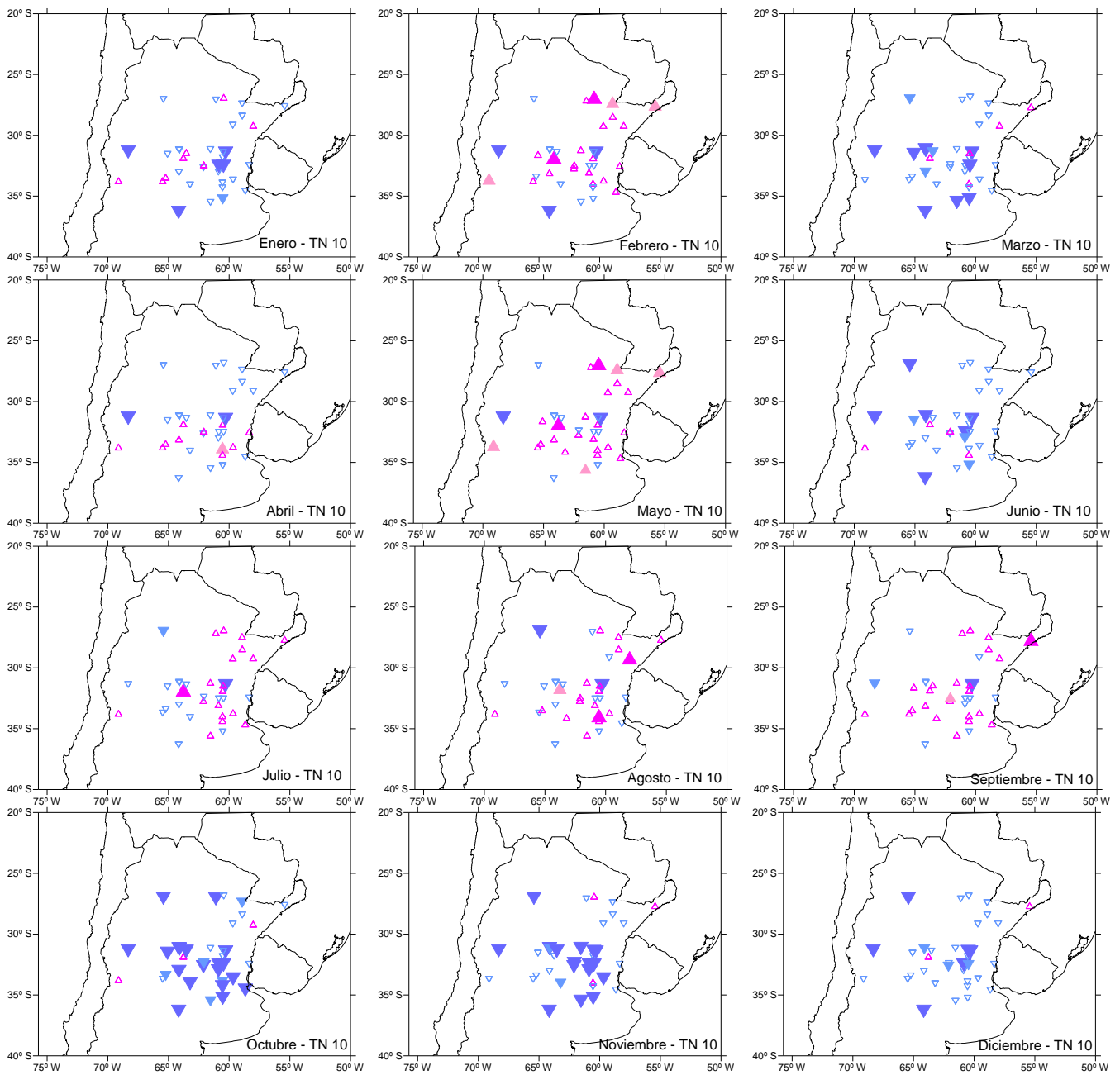
Respecto a las Noches Frías, TN 10, se destacan los meses de Octubre y Noviembre con tendencias significativas negativas en un gran número de estaciones, más del 50%. En general, se observan tendencias negativas durante la primavera y principio del verano (de Octubre a Enero y en Marzo) (Fig. 2).

Los mayores cambios en la frecuencia de noches cálidas, TN90, se observan en el mes de Noviembre con una gran cantidad de estaciones con tendencias positivas significativas (más del 60%). Este resultado, sumado a lo observado anteriormente para TN 10, permite inferir que durante este mes se registró el mayor aumento de la temperatura mínima. Algo similar ocurre en Octubre, afectado significativamente con la disminución de noches frías (Fig. 3).

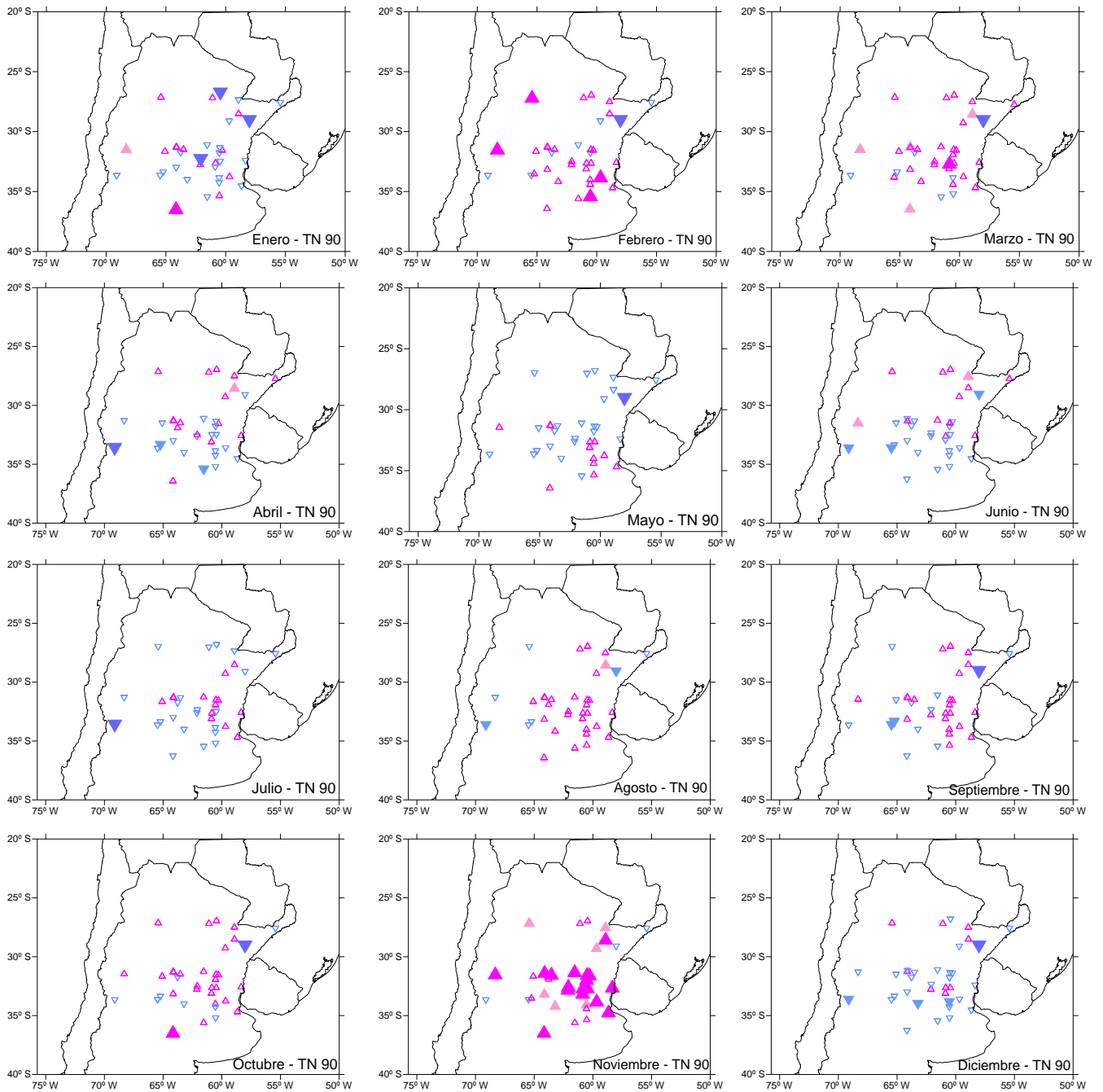
Con relación a los Días Fríos, TX 10, no se observan cambios significativos, excepto para regiones más acotadas del centro-este del país en los meses de Marzo, Junio y Octubre, donde se registran tendencias negativas significativas (Fig. 4).

La frecuencia de días cálidos, TX 90, presenta un predominio de las tendencias positivas a lo largo de todo el año, especialmente entre Agosto y Noviembre. Diciembre presenta un comportamiento diferente, con tendencias negativas significativas en la región centro-sur. En Agosto, las estaciones con tendencias significativas al 5% se encuentran mayormente distribuidas en la costa del Río Paraná, mientras que en Noviembre se ubican más hacia el sur y centro de la región de estudio. Considerando los resultados obtenidos para TX 10 y TX 90, se aprecia un incremento de la temperatura máxima en los meses de Octubre, Noviembre (principalmente por el aumento de días cálidos) y Marzo (especialmente por la disminución de días fríos) (Fig. 5 y 4).

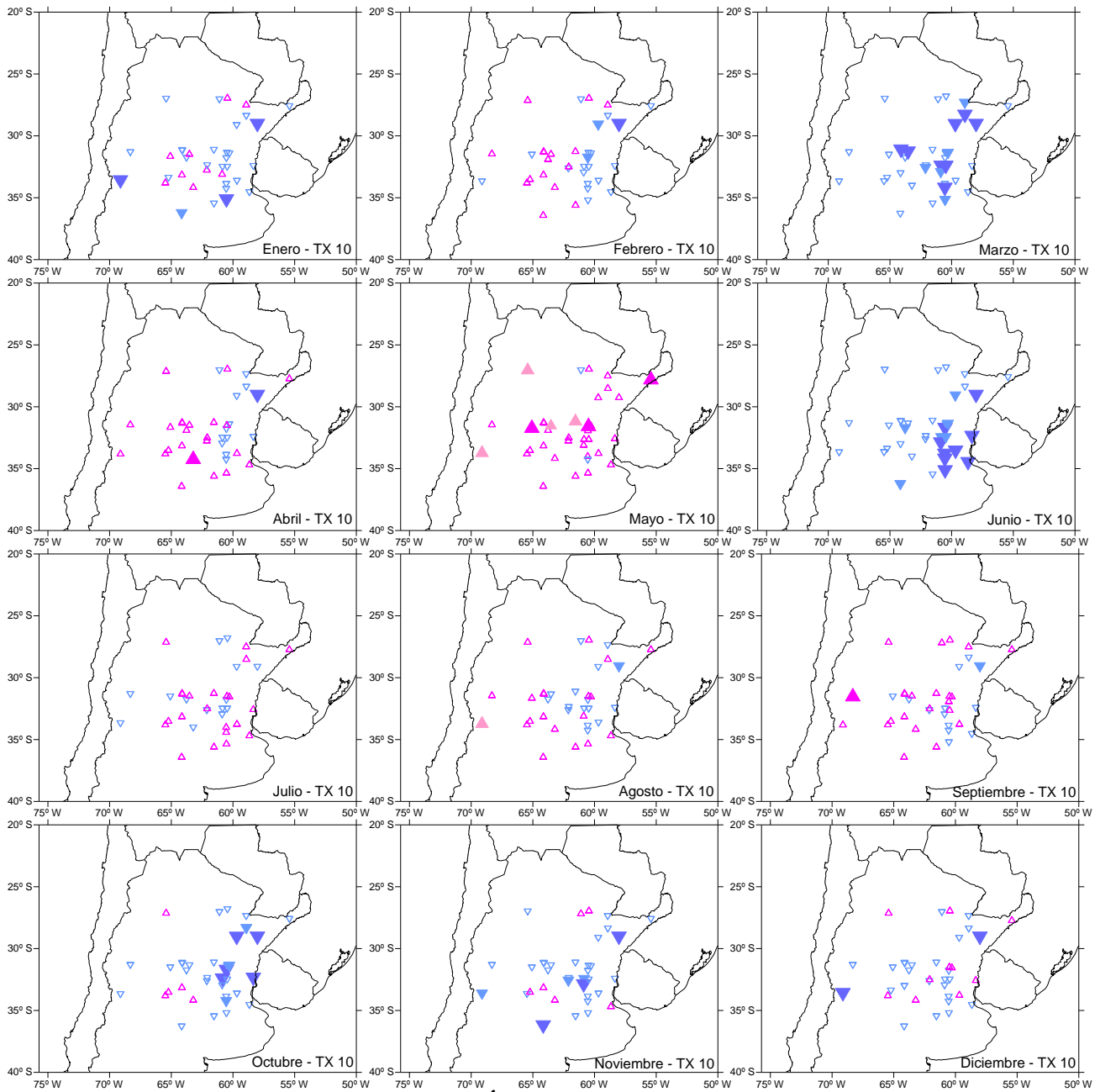
En general, los extremos fríos muestran una disminución en su ocurrencia tanto para las temperaturas mínimas como las máximas mientras que los extremos cálidos presentan un aumento de ocurrencia (especialmente la frecuencia días cálidos entre Agosto y Noviembre), dando como resultado condiciones más cálidas en la región.



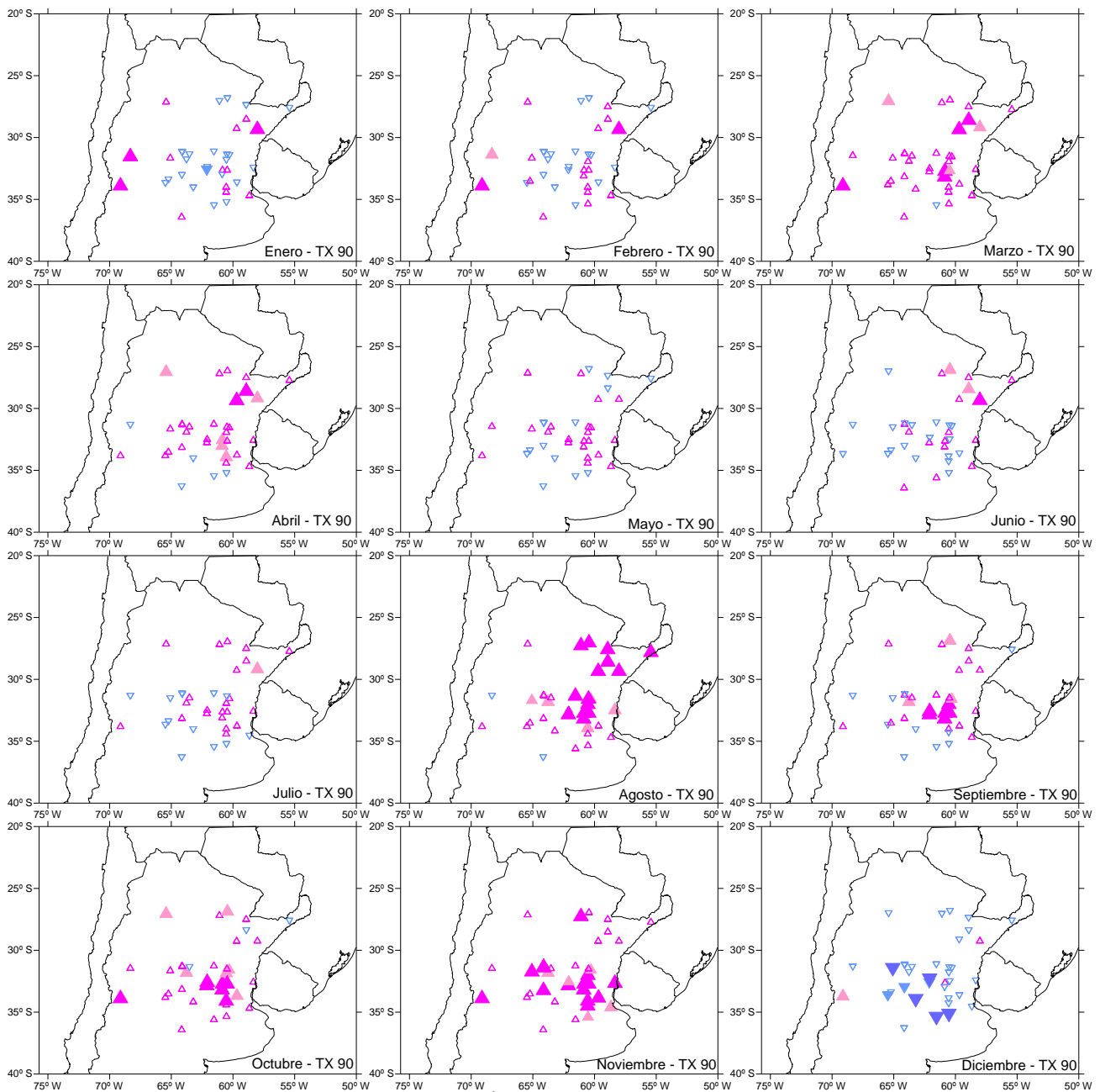
**Figura 2: Distribución espacial mensual de las tendencias para TN 10, donde ▼ indica las estaciones con tendencias negativas significativas al 5%, ▼ tendencias negativas significativas al 10%, ▽ tendencias negativas no significativas, ▲ tendencias positivas significativas al 5%, ▲ tendencias positivas significativas al 10% y △ tendencias positivas no significativas.**



**Figura 3: Ídem Fig. 2 para TN 90.**



**Figura 4: Ídem Fig. 2 para TX 10.**



**Figura 5: Ídem Fig. 2 para TX 90.**

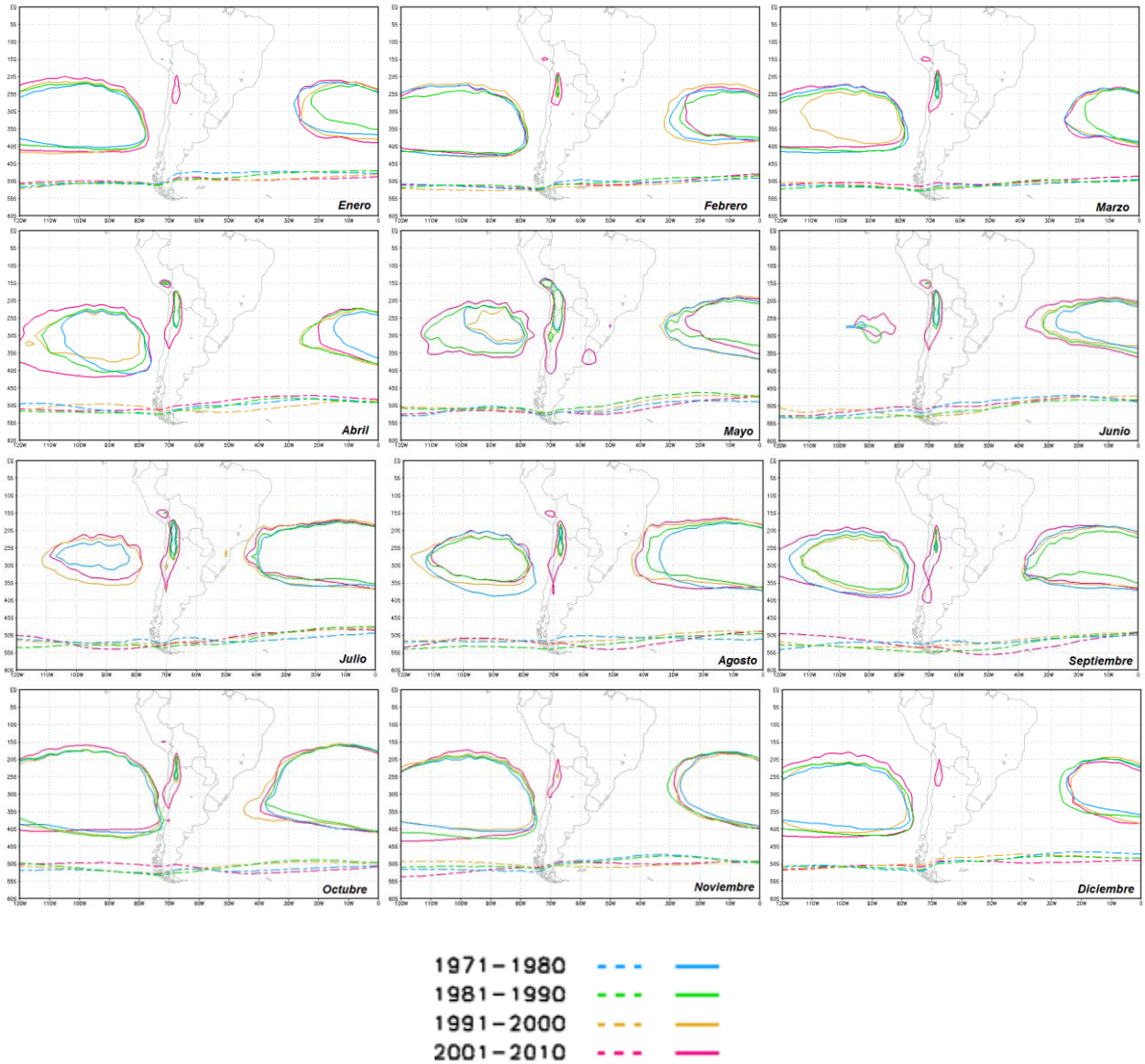
### 3.2 Señales en la circulación atmosférica

El aumento (reducción) del gradiente zonal de geopotencial entre el Anticiclón del Atlántico Sur y la Baja del Chaco, representativo de la componente norte del flujo de bajo nivel, está asociado generalmente con anomalías cálidas (frías) de la temperatura superficial en Argentina central, especialmente durante el invierno (Barros et al 2002). Se analizaron los cambios decadales de posición de los anticiclones semipermanentes del Pacífico y Atlántico Sur y su posible relación con las tendencias de los índices de temperaturas extremas estudiados.

La Fig. 6 muestra el promedio decadal de la presión a nivel del mar de las isobaras de 1004 y 1018 hPa,



con excepción del invierno (junio a septiembre) donde se utilizó la isobara de 1020.5 hPa por ser los anticiclones más intensos durante esta época del año. La información fue provista por el NCEP/NCAR Reanalysis. Se observa que desde la década 1971-80 a la década 2001-10 los corrimientos más significativos se producen en el Atlántico y sistemáticos hacia el Oeste, durante los meses de Junio y Agosto. Dicha situación favorece el mayor ingreso de aire cálido y húmedo sobre la Argentina, esto podría explicar parcialmente la disminución de noches y días fríos en Junio y el aumento de días cálidos en Agosto.



**Figura 6: Promedio decadal de la presión a nivel del mar del NCEP/NCAR Reanalysis para cada uno de los meses del año mostrado por dos contornos seleccionados: 1004 hPa (líneas punteadas) y 1018 hPa (línea sólida). Con la excepción de los meses de invierno (Junio a Septiembre) en los que se muestra la isobara de 1020.5 hPa en línea sólida.**

Con el fin de cuantificar la posible relación entre los índices de extremos de temperatura y la ubicación del Anticiclón semipermanente del Atlántico en escala anual se calculó el coeficiente de correlación de Spearman entre ambas variables, previamente filtrando las tendencias lineales. Para ello, en virtud de la

región de máximo desplazamiento del Anticiclón del Atlántico, se obtuvo la serie temporal de anomalías medias mensuales, respecto del periodo base 1981-2010, de altura geopotencial en 1000 hPa en el periodo 1971-2010 promediada espacialmente en la región 25-35° S, 30-45° W. Los datos fueron provistos por el NCEP/NCAR R1 (Reanálisis 1) a través de su página web (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/testdap/timeseries.pl>).

Se hallaron, en general, correlaciones negativas significativas con los índices relacionados con los extremos fríos y positivos con los extremos cálidos, siendo la frecuencia de noches cálidas la que presenta mayor cantidad de meses con correlaciones significativas. Las correlaciones negativas implican que un incremento de la altura geopotencial en la rama oeste del Anticiclón favorece la advección de aire cálido desde el norte que provoca la reducción de la frecuencia de extremos fríos, mientras que las correlaciones positivas con los extremos cálidos indican el aumento de la frecuencia de los mismos.

#### 4) CONCLUSIONES

Se estudiaron las tendencias mensuales de cuatro índices de extremos de temperatura: TN 10, TN 90, TX 10 y TX 90, en la región de la Argentina ubicada al norte de 40°S en el periodo 1970-2010. Luego de testear estadísticamente las pendientes, se encontró una reducción de la ocurrencia de noches frías en Octubre y Noviembre, incremento de la ocurrencia de noches cálidas en Noviembre, disminución de los días fríos en Marzo, Junio y Octubre, y un incremento de los días cálidos desde Agosto a Noviembre. Es decir, una reducción de la frecuencia de extremos fríos y un incremento de extremos cálidos.

El incremento de la ocurrencia de días cálidos durante el mes de Agosto, y la disminución de la ocurrencia de días fríos y de las noches frías en Junio podrían estar asociadas al desplazamiento hacia el oeste del anticiclón del Atlántico Sur que favorece la advección de aire cálido y húmedo desde el norte. Los otros meses no muestran una variación sistemática en la posición del anticiclón, por lo que otros procesos deben estar influenciando a los extremos de temperatura que permitan explicar las tendencias de los índices.

Además, los índices relacionados con extremos fríos muestran, en general, correlaciones negativas con las anomalías de altura geopotencial mientras que los relacionados con extremos cálidos presentan correlaciones significativas positivas, siendo la frecuencia de noches cálidas la que presenta mayor cantidad de meses con correlaciones significativas.

#### REFERENCIAS

- Barros, V, Grimm, A, Doyle, M, 2002:** Relationship between temperature and circulation in Southeastern South America and its influence from El Niño and La Niña Events. *J. of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 80, No. 1, pp. 21—32.
- Barrucand 2008,** Extremos de temperatura en Argentina: cambios observados en la variabilidad espacio-temporal y su relación con otras características del sistema climático. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires.
- Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Neguer, P. J. vander Linden, and D. Xiaosu, 2001:** *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 944 pp.
- 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 días extremos. *Meteorológica*. Vol 26 69-83
- Rusticucci, M. Barrucand, M. 2004.** Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *J. of Climate* Vol. 17 22, 4099-4107
- Rusticucci, M. 2012.** Observed and simulated variability of extreme temperature events over South America. *Atmos Research* 106 (2012) 1-17.
- Tencer, B. and Rusticucci, M, 2012,** Analysis of interdecadal variability of temperature extreme events in Argentina applying EVT, *M. Atmósfera*, vol.25, no.4, p.327-337
- Vincent, L.A, et al 2005:** Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000, *J. of Climate*, Vol 18, pp. 5011-5023.