

Tesis de Posgrado

Factores que afectan a la temperatura media mensual en Argentina subtropical

Bejarán, Rubén Aníbal

2001

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Buenos Aires

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

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

Cita tipo APA:

Bejarán, Rubén Aníbal. (2001). Factores que afectan a la temperatura media mensual en Argentina subtropical. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3425_Bejaran.pdf

Cita tipo Chicago:

Bejarán, Rubén Aníbal. "Factores que afectan a la temperatura media mensual en Argentina subtropical". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2001. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3425_Bejaran.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos

**Factores que afectan a la temperatura media mensual
en Argentina subtropical**

Doctorando
Rubén Aníbal Bejarán

Director de Tesis
Dr. Vicente Barros

Tesis presentada para optar por el título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires

2001

34257

A Inés y Tomatino
A mis viejos
A mi familia sanjuanina
A Rufino y su gente
A los dragones del azar
A los molinos de viento

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Vicente Barros, por su estímulo y dirección entusiasta y creativa, por su confianza y la libertad con que me permite trabajar.

A la Universidad de Buenos Aires y al FOMEC por otorgarme las becas de investigación durante la cual esta tesis fue realizada.

A Inés por las infinitas y abnegadas horas que me dedicó.

A Gustavo, mi compañero de quimeras.

A mis viejos que confiaron en mí en momentos de desaliento.

A Alicia por su apoyo, amistad y empuje.

A Fernando y Ramón por las horas compartidas.

A Moira por su bondad.

A Beatriz Scian por su ayuda desinteresada.

Y a todos mis colegas del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.

ÍNDICE

Resumen	i
Abstract	v
Capítulo 1	
Introducción	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Variaciones interdecádicas de la temperatura en Argentina subtropical	3
1.2.1 Información utilizada	3
1.2.2 Ciclo anual de la temperatura media diaria a nivel decádico	6
1.2.3 Análisis de las variaciones interdecádicas	7
1.2.4 Diferencias en la marcha anual de la temperatura media entre las décadas del '80 y del '60	7
1.2.5 Diferencias en la marcha anual de la temperatura media entre las décadas del '80 y del '70	11
1.2.6 Resultados	13
1.3 La temperatura media mensual	13
1.4 Conclusiones	17
1.5 Objetivos	17

Capítulo 2

Relación entre la temperatura media mensual en la Argentina subtropical y la cobertura nubosa

2.1	Introducción	19
2.2	Datos y metodología	19
2.3	Relación entre la cobertura nubosa y la temperatura mínima	20
2.4	Relación entre la cobertura nubosa y la temperatura máxima	21
2.5	Relación entre la cobertura nubosa y la temperatura media	27
2.6	Conclusiones	31

Capítulo 3

Relación entre la temperatura media mensual en la Argentina subtropical y la humedad del suelo

3.1	Introducción	33
3.2	El índice de Precipitación Estandarizado (SPI)	35
3.3	Datos y metodología	36
3.4	Relación entre la humedad del suelo y la temperatura mínima	37
3.5	Relación entre la humedad del suelo y la temperatura máxima	37
3.6	Relación entre la humedad del suelo y la temperatura media	38
3.7	Algunas características de la precipitación mensual acumulada en la región de estudio	45
3.8	Conclusiones	46

Capítulo 4

Relación entre la temperatura media mensual en la Argentina subtropical y algunos parámetros de circulación

4.1	Introducción	48
4.2	Datos y metodología	49
4.3	Relación entre el índice L y la temperatura media mensual	50

4.4	Relación entre el índice N y la temperatura media mensual	51
4.5	Relación entre los índices L y N	61
4.6	Conclusiones	61

Capítulo 5

Relación entre la temperatura media mensual en la Argentina subtropical y la temperatura de los océanos Atlántico y Pacífico

5.1	Introducción	63
5.2	Metodología	64
5.3	Relación entre las anomalías de la temperatura de superficie y del océano Atlántico	66
5.4	Relación entre las anomalías de la temperatura de superficie y del océano Pacífico	82
5.5	Conclusiones	97

Capítulo 6

Importancia relativa de los distintos factores que determinan la temperatura media mensual en Argentina subtropical

6.1	Introducción	100
6.2	Definición de subregiones dentro del área de estudio	100
6.3	Modelo de estimación de la temperatura media mensual	103
6.4	Metodología	105
6.5	Resultados	106
6.6	Conclusiones	109

Capítulo 7

Conclusiones	112
---------------------	-----

Referencias	122
--------------------	-----

RESUMEN

El objetivo principal de esta Tesis es avanzar en el conocimiento de los factores que determinan la temperatura media mensual en Argentina subtropical a través del análisis de las relaciones de dicha variable con la nubosidad, la humedad del suelo, la temperatura de los océanos Atlántico y Pacífico y la circulación atmosférica. A través de este estudio se busca establecer en qué medida, desde el punto de vista estadístico, las relaciones físicas conocidas a nivel diario pueden ser transferidas a escalas temporales mayores.

Del análisis de correlación entre la temperatura media mensual y la nubosidad se encuentra que el signo es distinto según la época del año. Durante el semestre cálido (octubre a marzo) predominan las correlaciones negativas mientras que entre abril y septiembre dominan las correlaciones positivas. La relación inversa observada durante los meses cálidos se debería a que domina el efecto de la nubosidad previniendo la ocurrencia de temperaturas máximas elevadas mientras que la relación directa que se encuentra en el semestre frío estaría asociada al efecto de la nubosidad moderando las temperaturas mínimas.

Con respecto a la relación entre el contenido de humedad en el suelo, calculado a través del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), y las temperaturas mínima, máxima y media en Argentina subtropical, los resultados obtenidos muestran que existen correlaciones débiles de signo positivo entre la humedad del suelo y la temperatura mínima y correlaciones más altas en valor absoluto y de signo contrario entre la humedad del suelo y la temperatura máxima. La temperatura media muestra un comportamiento similar al de la máxima, principalmente durante el verano, reflejando que el efecto de la humedad del suelo sobre la temperatura media es una consecuencia de la utilización del calor disponible en el ambiente en el proceso de evaporación. En invierno no se encontraron correlaciones significativas indicando que la mayor o menor capacidad calorífica de los suelos debido a su mayor o menor contenido de humedad, no es un factor importante en la regulación la temperatura media.

La relación entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y la posición de

los vientos máximos en 200 hPa muestra que cuanto más al norte se encuentra la posición de los vientos zonales máximos, menores son las temperaturas medias en la mayoría de las estaciones de la región analizadas. Durante los meses de invierno y primavera la correlación es mayor que para el trimestre de verano y los primeros meses del otoño así como el área donde alcanza valores significativos. Las débiles correlaciones obtenidas para los meses estivales se deben a que la región está caracterizada por una marcada barotropía y los vientos máximos superiores se encuentran desplazados hacia la Patagonia. Existe una correlación negativa entre el número de pasaje de perturbaciones (N) en Santa Rosa, Paraná y Posadas y la temperatura media que es mayor en valor absoluto en el otoño y comienzo del invierno en Posadas y Paraná y más irregular espacial y temporalmente en Santa Rosa. Estas correlaciones indican que la relación entre la temperatura media y N es tal que, a escala mensual, el mayor pasaje de perturbaciones está asociado a menores temperaturas.

Los resultados obtenidos del análisis de la relación entre la temperatura del mar del océano Atlántico ($TSM_{\text{Atlántico}}$) y la temperatura media mensual en Argentina subtropical (T_{sup}) muestra que en los meses de verano, anomalías frías (cálidas) en Argentina subtropical están asociadas a anomalías cálidas (frías) en el Atlántico en la banda 20°S-30°S. Estos resultados se deberían a que anomalías negativas de T_{sup} podrían ser consecuencia del aumento de la precipitación y por ende de la nubosidad asociadas a un desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) como resultado de un calentamiento en el Atlántico hacia el sur de la ZCAS. Durante el otoño se encuentra una relación directa entre T_{sup} y $TSM_{\text{Atlántico}}$ que se debería a que el flujo en superficie en Argentina subtropical durante esa época del año es predominantemente del este mientras que no se encuentran señales claras en la relación entre T_{sup} y $TSM_{\text{Atlántico}}$ durante el invierno.

Del análisis de la relación entre T_{sup} y la temperatura del océano Pacífico ($TSM_{\text{Pacífico}}$) se encuentra que los patrones correspondientes al verano, asociados a eventos El Niño/La Niña muestran una relación inversa entre la temperatura del mar del Pacífico tropical y la temperatura en el noreste de Argentina. Las anomalías negativas en la temperatura en el noreste de Argentina durante eventos cálidos se deberían al aumento de la nubosidad debido a la mayor precipitación. En las componentes de otoño en las que no aparece el modo Niño/Niña, se observa que es significativa la región del Pacífico subtropical próximo a la costa sudamericana de forma que se encuentra una relación directa entre $TSM_{\text{Pacífico}}$ y T_{sup} . Esta relación podría deberse a que esa región del Pacífico es donde en general tienen origen los sistemas frontales que ingresan al continente y por lo tanto su temperatura

aparece condicionando la advección térmica. Durante el invierno se observa una relación directa entre las anomalías de $TSM_{\text{Pacífico}}$ en la región ecuatorial y T_{sup} en Argentina subtropical de forma que eventos El Niño están asociados a anomalías cálidas de T_{sup} y eventos La Niña a anomalías frías. Esto se debería a la modificación de la circulación regional durante eventos cálidos (fríos) que implica una menor (mayor) frecuencia de irrupciones de frentes fríos y una mayor (menor) permanencia del aire cálido advechado desde el norte en Argentina subtropical.

Durante la primavera se encuentra una relación directa entre la temperatura del Pacífico ecuatorial y la temperatura en Argentina subtropical, confirmando que eventos cálidos (fríos) están asociados a una intensificación (debilitamiento) de la advección de aire cálido y húmedo sobre el sudeste de Sudamérica. El Pacífico subtropical muestra una relación inversa con la temperatura en Argentina subtropical, con diferencias entre los distintos meses de la primavera pero que en general es significativa en la región este.

Se formula un modelo de estimación de la temperatura media mensual para tres subregiones de Argentina subtropical (oeste, noreste y sudeste) en función de la nubosidad, humedad del suelo, posición de los vientos máximos en 200 hPa, número de pasaje de perturbaciones y temperatura de la superficie del mar de los océanos Atlántico y Pacífico y pesando la importancia relativa de cada uno de ellos. Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método de regresión múltiple muestran que existe disparidad en la bondad del ajuste entre las diferentes subregiones. En general, la zona oeste es la que presenta la menor proporción de varianza explicada. Con respecto a las variables que se incorporan a los modelos, los resultados son en general bastante dispares y no se observan variables que expliquen individualmente la variabilidad Interanual de la temperatura mensual.

Los resultados obtenidos a lo largo de los diferentes capítulos permitieron establecer relaciones importantes entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y un conjunto de variables atmosféricas y oceánicas. Si bien estos factores no alcanzan para explicar la totalidad de la variabilidad de la temperatura media mensual en la región, se ha demostrado que según la época del año y la subregión, la varianza explicada por los factores analizados puede superar el 50%. A través de este estudio de diagnóstico se demuestra que la temperatura media mensual en Argentina subtropical depende un conjunto de factores que varían según la época del año y la subregión considerada y que ninguno de los factores es capaz de explicar individualmente la variabilidad interanual de la temperatura poniendo de esta forma de manifiesto la complejidad del pronóstico climático de la temperatura mensual en la región.

Palabras clave: temperatura media mensual, Argentina subtropical, nubosidad, humedad del suelo, temperatura del mar, circulación atmosférica.

ABSTRACT

The main objective of this Thesis is to advance in the knowledge of the factors that determine monthly mean temperatures in subtropical Argentina through the analysis of the relations with a set of variables as cloudiness, soil humidity, Atlantic and Pacific sea surface temperature and atmospheric circulation. Through this study we look for to establish to what extent, from the statistical point of view, the physical daily level relations can be transferred to larger temporary scales.

From the analysis of correlation between the monthly mean temperature and total cloudiness, it can be appreciated that the sign is different according to the time of the year. During the warm semester (October to March) the negative correlations predominate whereas between April and September the positive correlations are dominant. The observed inverse relation during the warm months indicates that the effect of the cloudiness preventing high maxima temperatures is the most important whereas the direct relation during the cold semester could be associated to the modulation of minimum temperature by cloudiness.

With respect to the relation between the ground humidity content, calculated through the Standardized Precipitation Index (SPI), and the minimum, maximum and mean temperature in subtropical Argentina, the results show weak positive correlations between the soil humidity and minimum temperature and higher correlations in absolute value and of opposite sign between soil humidity and maximum temperature. The mean temperature shows a similar behavior to the one of the maximum, mainly during the summer, reflecting that the effect of the soil humidity on the mean temperature is a consequence of the use of the heat available in the atmosphere in the evaporation process. In winter not significant correlations were found indicating that the greater or smaller heat capacity of grounds due to its greater or smaller humidity content, is not an important factor in the regulation the average temperature.

The relation between the monthly mean temperature in subtropical Argentina and the position of maximum winds in 200 hPa shows that the most to the north is the position of maximum zonal winds, smaller is the mean temperatures in most of the analyzed stations of the region. During the winter and spring months the correlation is greater than for the trimester of summer and the first months of the autumn as well as the area where it

reaches significant values. The weak correlations obtained for the summer months are probably a consequence of the noticeable barotropy of the region and that the superior maximum winds are moved towards the Patagonia. A negative correlation between the number of passage of disturbances (N) in Santa Rosa, Paraná and Posadas and the mean temperature is greater in absolute value in the autumn and beginning of the winter in Posadas and spatially and temporally more irregular in Paraná and Santa Rosa. These correlations indicate that the relation between temperature average and N is so that, on monthly scale, the greater passage of disturbances is associate to smaller temperatures.

The results of the analysis of the relation between the Atlantic sea surface temperature ($SST_{Atlantic}$) and monthly mean temperature in subtropical Argentina (T_{sup}) shows that in summer months, cold (warm) anomalies in subtropical Argentina are associate to warm (cold) anomalies in the Atlantic band $20^{\circ}S$ - $30^{\circ}S$. Negative anomalies of T_{sup} could be consequence of the increase of the precipitation and therefore of the cloudiness associated to a displacement towards the south of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) as a result of a heating in the Atlantic towards the south of the SACZ. During the autumn there is a direct relation between T_{sup} and $SST_{Atlantic}$ because the surface flow in subtropical Argentina during that time of the year is predominantly of the east whereas there are not clear signals in the relation between T_{sup} and $SST_{Atlantic}$ during winter.

The analysis of the relation between T_{sup} and the Pacific sea surface temperature ($SST_{Pacific}$) shows that the patterns corresponding to the summer, associated to El Niño/La Niña events present an inverse relation between the tropical $SST_{Pacific}$ and the mean temperature in northeastern Argentina. The negative temperature anomalies in the northeast of Argentina during warm events could be due to the increase of the cloudiness associated to greater precipitation. In autumn, components in which it does not appear the El Niño/La Niña signal, it is observed that the region of the subtropical Pacific next to the South American coast is significant with a direct relation between $SST_{Pacific}$ and T_{sup} .

This relation could be due to that that region of the Pacific is where in general the frontal systems that enter the continent have their origin and therefore its temperature appears conditioning the thermal advection. During winter, a direct relation between the anomalies of the equatorial $SST_{Pacific}$ and T_{sup} in subtropical Argentina is observed so that El Niño events are associated to warm anomalies of T_{sup} and La Niña events to cold anomalies. This could be related to the modification of the regional circulation during warm (cold) events that imply a minor (greater) frequency of irruptions of cold fronts and a greater (smaller) permanence of the warm air advected from the north in subtropical Argentina. During the spring, there is a direct relation between the equatorial Pacific temperature and

the temperature in subtropical Argentina, confirming that warm (cold) events are associated to an intensification (weakening) of the warm and humid air advection over Southeastern South America. The subtropical Pacific shows an inverse relation with the temperature in subtropical Argentina, with differences between the different months from the spring but that in general is significant in the east region.

A model of estimation of the monthly mean temperature for three subregions of subtropical Argentina (the West, Northeast and Southeast) based on the cloudiness, soil humidity, position of maximum winds in 200 hPa, number of passage of disturbances and Atlantic and Pacific sea surface temperature is formulated. The results obtained from the application of a multiple regression method show disparity in the goodness of the adjustment between the different subregions. In general, the West zone is the one that presents the smaller proportion of explained variance. With respect to the variables that are included into the models, the results are in general quite different and none of the variables explain individually the interannual variability of the mean monthly temperature.

Key words: mean monthly temperature, subtropical Argentina, total cloudiness, soil humidity, Atlantic and Pacific sea surface temperature, atmospheric circulation.

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1. Antecedentes

La temperatura media mensual es una variable que ha sido estudiada ampliamente, quizás debido a que posee el registro más largo de cuanta variable meteorológica se conozca, quizás porque es la que mejor distribuida espacialmente en todo el globo o simplemente por su importancia en el monitoreo del sistema climático. Sin duda, su estudio es relevante también desde el punto de vista de su impacto económico en el sector energético. Por ejemplo, Bertolotti y otros (2001) estudiaron la relación entre la temperatura y el consumo de gas domiciliario en la ciudad de Buenos Aires encontrando una fuerte dependencia entre ambas variables y que significan según Gil (1999) variaciones en el consumo diario durante los meses de invierno de hasta el 40% en función de las condiciones térmicas.

Los trabajos que analizan la variabilidad interanual de la temperatura mensual se refieren principalmente a la influencia de eventos El Niño/Oscilación del Sur. Por ejemplo, Halpert y Ropelewski (1992) encontraron que durante eventos cálidos la temperatura se mantiene por encima de los valores normales en el sur de Brasil, Paraguay, este de Bolivia y norte de Argentina en el período mayo (0)-abril (+) mientras que en el período octubre(0)-mayo(+) de eventos fríos se registran valores por debajo de lo normal en un área que abarca la citada anteriormente y que se extiende hacia el sur comprendiendo a Uruguay y centro de Argentina. Por otra parte, Aceituno (1988) encontró que sólo durante los meses de septiembre y octubre existen correlaciones significativas en el Índice de Oscilación Sur (SOI). Barros y otros (2000a) estudiaron la influencia sobre la temperatura del sudeste de Sudamérica de los eventos El Niño y la Niña para los meses entre mayo (0) y agosto(+). Sus resultados indican que, por ejemplo, en la banda 20°S-35°S se observan anomalías positivas en el período junio(0)-agosto(0) de eventos cálidos mientras que en la Patagonia se registran anomalías negativas.

Pittock (1980) realizó un análisis de las temperaturas medias mensuales y anual de un conjunto de estaciones de Argentina y Chile correspondientes al período 1931-60 con el objeto de identificar, por medio del método de componentes principales, patrones de

variabilidad de estas variables y su relación con diferentes índices de circulación. Sus resultados para la temperatura media anual muestran tres patrones, que en conjunto explican algo más del 60% de la varianza. El 1º autovector (explica 41.8% de la varianza) abarca el territorio argentino al norte de 45°S fue correlacionado con un conjunto de índices de circulación, no encontrándose en ningún caso correlaciones significativas. El análisis de las temperaturas mensuales y estacionales muestra que el 1º autovector es similar al de la temperatura media anual en lo que se refiere a estructura espacial pero presenta variaciones en la proporción de varianza explicada siendo mínima en diciembre y máxima en julio. En este caso se observan correlaciones significativas con el índice de circulación del Atlántico Sur que es significativa en Argentina subtropical, al norte de 35°S, principalmente en los meses entre abril y junio. Estos resultados encontrados por Pittock (1980) son los primeros que aparecen en la literatura que hacen referencia a la importancia de las variaciones en el Atlántico tropical sobre fluctuaciones climáticas en latitudes medias del hemisferio sur.

El análisis de la tendencia de la temperatura en el sur de Sudamérica ha sido estudiado por distintos autores en las últimas dos décadas. Por ejemplo, Minetti y Vargas (1983) encontraron un enfriamiento del continente sudamericano al sur de 10°S especialmente en la década 1951-60 en comparación con la década anterior. Hoffmann (1990) y Hoffmann y otros (1997) estudiaron las variaciones de la temperatura en Argentina para el período 1903-89 y encontraron un calentamiento al sur de 45°S. Hacia el norte de esta latitud sólo hallaron tendencias positivas en las estaciones Buenos Aires y Córdoba pero que fueron atribuidas por estos autores a efectos urbanos. Camilloni y Barros (1995) estudiaron el impacto de la urbanización sobre la temperatura a escala regional y hemisférica encontrando que en Argentina subtropical las tendencias disminuyen de 0.5°C/100 años a 0.2°C/100 años cuando se realizan las correcciones por calentamiento urbano. Rosenblüth y otros (1997) analizaron las variaciones de temperatura en el sur de Sudamérica y encontraron tendencias en la temperatura media anual en el rango entre 1.3 a 2.0°/100 años para el período 1933-92, que cuando limitan el estudio a las últimas tres décadas, alcanzan valores que duplican los anteriores.

De los antecedentes expuestos surge que han habido cambios en la temperatura en el sur de Sudamérica por lo que, como estudio preliminar, se realizó un análisis acerca de los cambios observados en la temperatura con el objeto de identificar si se registraron con preferencia en alguna época del año. Con esta finalidad, en la sección siguiente se analizan las variaciones interdecádicas de la temperatura en Argentina subtropical. Asimismo, se realiza a continuación una breve discusión acerca del significado de la

temperatura media mensual y finalmente se presentan los objetivos y estructura organizativa del presente trabajo de Tesis.

1.2. Variaciones interdecádicas de la temperatura en Argentina subtropical

1.2.1. Información utilizada

Se analiza la temperatura media diaria de un conjunto de 41 estaciones meteorológicas de superficie localizadas en el sector centro-norte de Argentina al norte del paralelo 40°S pertenecientes a la red de observación del Servicio Meteorológico Nacional (ver Tabla 1.1 y Figura 1.1). El período seleccionado para el análisis es 1960-89.

Estación	Latitud (S)	Longitud (W)	altura (m)
Aeroparque	34°34'	58°25'	6
Azul	36°45'	59°50'	132
Bolívar	36°15'	61°06'	93
Bella Vista	28°26'	58°55'	70
Catamarca	28°36'	65°46'	531
Córdoba Aero	31°39'	64°13'	474
Ceres	29°53'	61°57'	88
Concordia	31°18'	58°01'	38
Corrientes	27°27'	58°46'	62
Dolores	36°21'	57°44'	9
Formosa	26°12'	58°14'	60
General Pico	35°42'	63°45'	143
Laboulaye	34°08'	63°22'	137
La Rioja	29°33'	66°49'	429
Las Lomitas	24°42'	60°35'	130
Mar del Plata	37°56'	57°35'	24
Monte Caseros	30°16'	57°39'	54
Mendoza	32°50'	68°47'	704

Tabla 1.1. Localización de estaciones meteorológicas analizadas.

Estación	Latitud (S)	Longitud (W)	altura (m)
Oberá	27°29'	55°08'	343
Oliveros	32°33'	60°51'	26
Paraná	31°47'	60°29'	110
Paso de los Libres	29°41'	57°09'	70
Pergamino	33°56'	60°33'	65
Pigüe	37°36'	62°23'	298
Posadas	27°22'	55°58'	133
Pres. Roque Saenz Peña	26°49'	60°27'	92
Rafaela	31°11'	61°33'	100
Río Cuarto	33°07'	64°14'	421
Rosario	32°55'	60°47'	25
Salta	24°51'	65°29'	1221
San Juan	31°24'	68°25'	598
San Luis	33°16'	66°21'	713
Salto Grande	31°12'	57°35'	37
Santiago del Estero	27°46'	64°18'	199
Santa Rosa	36°34'	64°16'	191
Tandil	37°14'	59°15'	175
Trenque Lauquen	35°58'	62°44'	95
Villa Angela	26°49'	60°27'	75
Villa Dolores	31°57'	65°08'	569
Villa María del Río Seco	29°54'	63°41'	341
Villa Reynolds	33°44'	65°23'	486

Tabla 1.1. (cont.) Localización de estaciones meteorológicas analizadas.

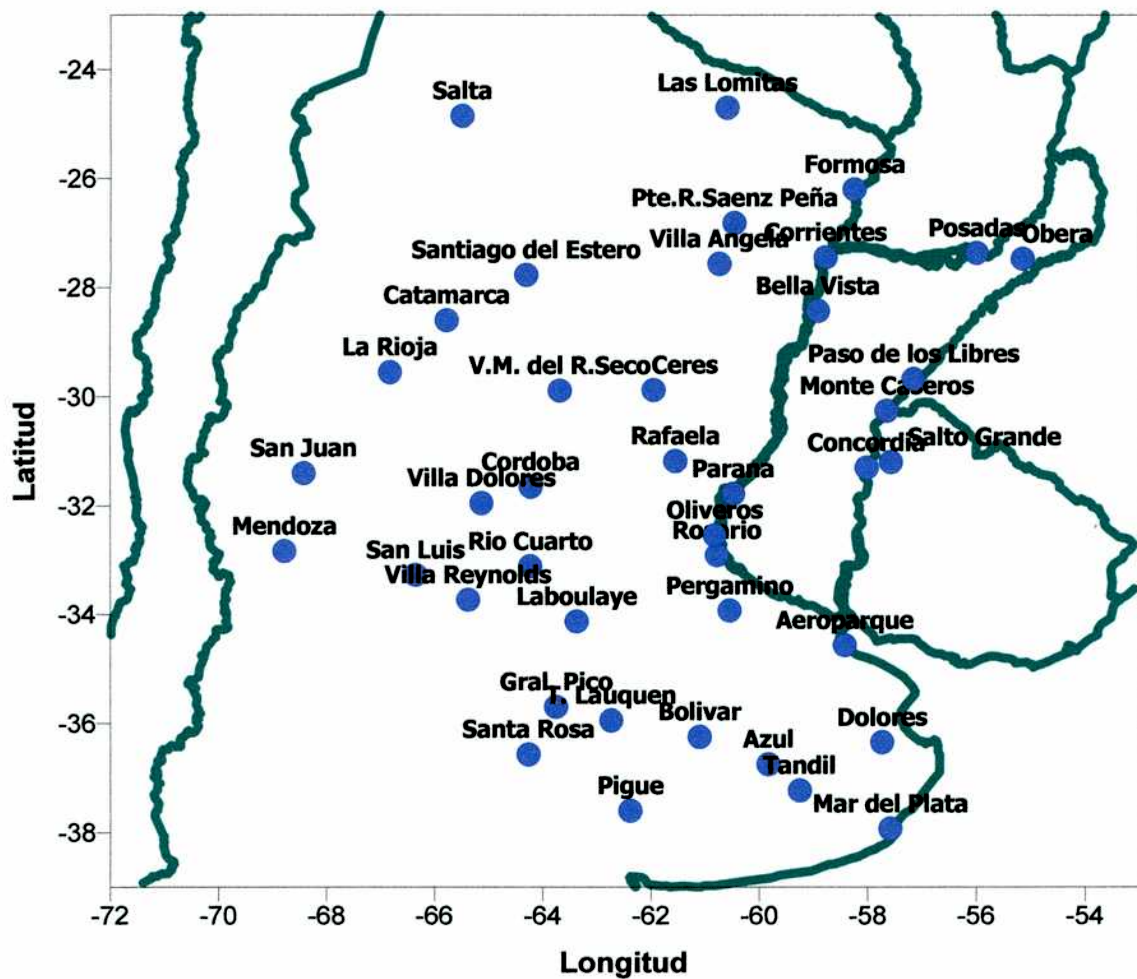


Figura 1.1. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Para el análisis de las características de los cambios interdecádicos se trabajó con las marchas anuales de la temperatura media diaria del conjunto de estaciones seleccionadas realizando promedios decádicos de forma de filtrar la variabilidad interanual. Las décadas a analizar fueron definidas de la siguiente forma:

- *década 1(d1):* del 1 de enero de 1960 al 31 de diciembre del 69
- *década 2(d2):* del 1 de enero de 1970 al 31 de diciembre del 79
- *década 3(d3):* del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre del 89

Asimismo, a las series decádicas resultantes se les aplicó un filtro (promedios móviles de

21 días) con el objeto de analizar únicamente las variaciones de frecuencia menores a las de la escala sinóptica.

1.2.2. Ciclo anual de la temperatura media diaria a nivel decádico

Como paso previo se estudian las características generales de la marcha anual de temperatura media diaria a través del método de análisis armónico. Se analizan las marchas anuales medias decádicas filtradas calculadas para las estaciones indicadas en la Tabla 1.1. En todos los casos el primer armónico explica más del 86% de la varianza y por lo tanto describe razonablemente el ciclo anual de la temperatura.

En la Tabla 1.2 se muestran la amplitud y fase correspondientes al primer armónico para las tres décadas estudiadas y para seis estaciones. Como es sabido en la región de análisis el balance radiativo es máximo durante el solsticio de verano y la ocurrencia posterior del máximo térmico está determinada principalmente por la capacidad calorífica del suelo. Por otro lado, las diferencias de amplitudes térmicas entre estas localidades están relacionadas con la cercanía al océano Atlántico y con la componente astronómica, de modo que la amplitud disminuye con la proximidad a la costa y a los trópicos.

	Mar del Plata	Catamarca	Posadas	Salta	Ezeiza	San Luis
Amplitud(d1)	5.83	7.54	5.08	5.16	6.68	7.05
Amplitud(d2)	5.82	7.57	5.11	5.35	6.50	6.98
Amplitud(d3)	6.40	7.87	5.42	5.30	6.96	7.29
Fase (d1)	23.54	7.16	11.50	4.82	18.41	11.63
Fase (d2)	23.20	3.7	15.54	4.72	18.13	8.24
Fase (d3)	23.83	6.80	15.73	7.32	19.19	9.97

Tabla 1.2. Amplitud (°C) y fase (días a partir del 1° de enero) del primer armónico para las tres décadas analizadas y para las estaciones indicadas.

Con respecto a la fase se encuentra que en la región noroeste de Argentina, la temperatura media registra su máximo durante la primera semana del mes de enero mientras que en ciertas localidades de la provincia de Buenos Aires el máximo ocurre unos 15 días más tarde como consecuencia de la influencia térmica ejercida por el océano Atlántico. El efecto de la proximidad a la costa puede ser corroborado en la Figura

1.2 donde a modo de ejemplo, se presenta la marcha anual de la temperatura media mensual de la superficie del mar para el sector 20°S a 40°S y al oeste de 20°W para el período 1960-90 que muestra que el máximo se registra en febrero y el mínimo en agosto.

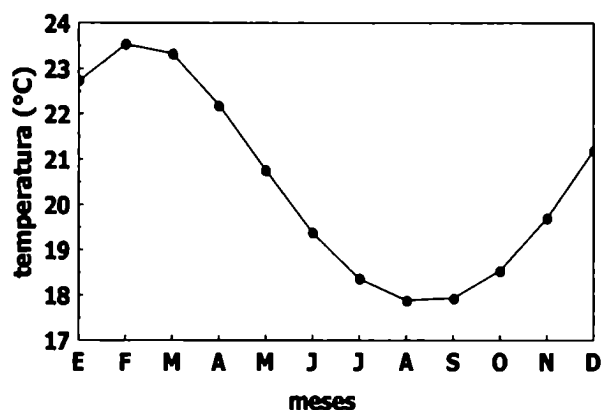


Figura 1.2. Temperatura media mensual de la superficie del mar en el área entre 20°S y 40°S y al oeste de 20°W para el período 1960-90.

1.2.3. Análisis de las variaciones interdecádicas

Debido a que es dificultoso sintetizar los cambios observados en las últimas tres décadas en cada una de las estaciones, se optó por realizar una regionalización agrupando estaciones donde los cambios fueran similares. Para ello fue preciso calcular para cada una de las estaciones analizadas las siguientes series diferencia:

- $d32$: (década 3 - década 2)
- $d31$: (década 3 - década 1)

Se aplicó a dichas series el método de componentes principales rotadas (Varimax) con matriz de entrada en el modo-S (Richmann, 1986). De este modo se obtienen las componentes principales que describen cualitativamente el cambio que se produjo y factor loadings por medio de los cuales se identifican las regiones correspondientes a esos cambios.

1.2.4. Diferencias en la marcha anual de la temperatura media entre las décadas del '80 y del '60

De la aplicación del método de componentes principales (CP) a las series diferencias $d31$

surge, conforme al criterio de retener aquellas componentes cuyos autovalores sean mayores de 1, que reteniendo las tres primeras componentes principales rotadas se explica el 82% de la varianza total (1°CP: 31.8%; 2°CP: 26.1%; 3°CP: 24.0%). En las Figuras 1.3a a 1.3c se muestran los campos de correlación de las series diferencias con las tres CP retenidas. En la Figura 1.3a se observa que la región de máxima correlación entre la primer CP y las series diferencias *d31* corresponde a la zona *oeste* de Argentina (Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza y San Luis). En la Figura 1.3b, correspondiente a la segunda CP, la máxima correlación se encuentra en la región *noreste* (Formosa, Chaco, Corrientes y Misiones). Finalmente, en la Figura 1.3c se encuentra que las correlaciones más significativas para la tercer CP están en la región *sudeste* (Buenos Aires y este de La Pampa). Esto puede ser confirmado cuando se comparan los factor scores con el resultado de promediar las series diferencia de las 5 estaciones con mayor correlación (Figuras 1.3d a 1.3f). Es posible apreciar en los factor scores cierta variabilidad de alta frecuencia remanente debido a que los promedios móviles no reducen totalmente las altas frecuencias (Jenkins y Watts, 1969).

De la Figura 1.3d resulta que el comportamiento de la zona oeste puede resumirse en: **calentamientos** en el mes de marzo, desde mediados de junio a mediados de julio, primera quincena de setiembre, el mes de octubre y en menor medida el mes diciembre y **enfriamientos** desde abril hasta mediados de junio, desde mediados de julio hasta mediados de agosto y la segunda quincena de setiembre. Para la región noreste (Figura 1.3e) se notan **calentamientos** en enero y desde mediados de febrero hasta mediados de mayo y **enfriamientos** en la segunda mitad de mayo hasta mediados de junio, en setiembre y octubre y en la primera parte de diciembre. En la región sudeste, representada por la tercer componente se evidencian **calentamientos** en enero, febrero y abril, desde mediados de agosto hasta mediados de octubre y por último durante diciembre. Asimismo, se observa un **enfriamiento** desde mayo hasta mediados de agosto inclusive (ver Figura 1.3f).

Por lo tanto, es posible observar el calentamiento otoñal de la década del 80' en las tres subregiones consideradas con algunas particularidades: mientras que en la región oeste se aprecia sólo en el mes de marzo, en las zonas noreste y sudeste el calentamiento es más prolongado comprometiendo no sólo marzo sino también la totalidad del mes de abril y algunos días de mayo.

Para estudiar la significancia estadística del calentamiento en los meses de otoño y descartar que este cambio sea producto de un año muy particular, se procedió de la siguiente forma:

1. se calculó para cada año (i) la temperatura media de los períodos de calentamiento otoñal observados en las Figuras 1.3.d a 1.3.f, para las series definidas por el promedio de las cinco estaciones (j) con mayor correlación con la componente principal:

$$T_i = \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^l T_{j,k}$$

con k=días y l=número total de días que duró el calentamiento.

2. Se obtuvo para cada década (h) las medias (T_h) y las varianzas (S_h):

$$T_h = \sum_{i=1}^{10} T_i$$

$$S_h = \sum_{i=1}^{10} (T_h - T_i)^2 / 10$$

La significancia del calentamiento fue analizada con un test t de Student con un nivel de significancia del 95% suponiendo que ambas muestras corresponden a una misma población. Este nivel es indicado en las Figuras 1.3.d a 1.3.f., observándose que estos calentamientos son significativos y no producto de algunos eventos aislados.

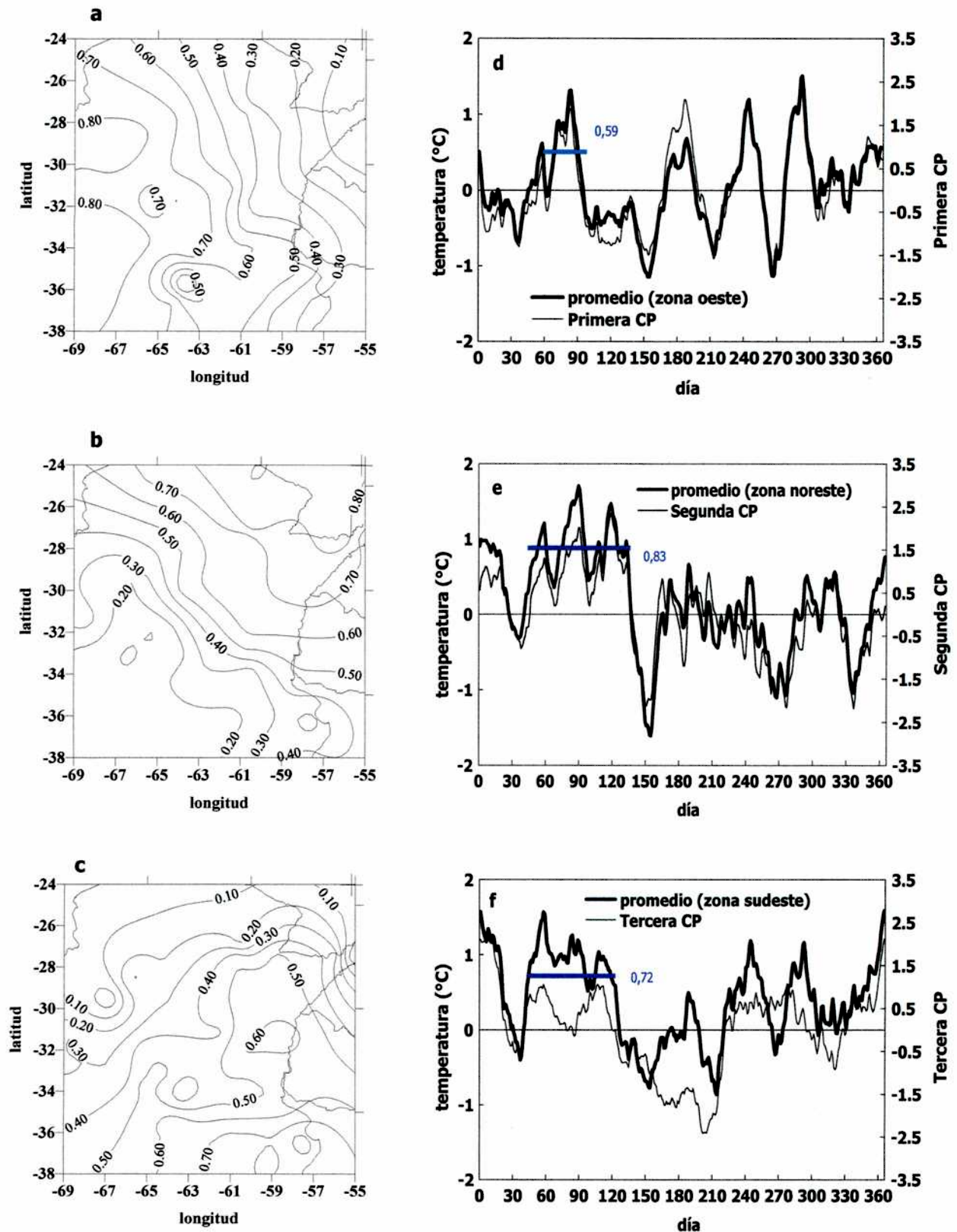


Figura 1.3. Campo de correlación de las series diferencias $d31$ con las tres componentes principales retenidas (**a** con 1^oCP, **b** con 2^oCP, **c** con 3^oCP) y comparación de las tres primeras CP con el promedio de las series diferencia $d31$ de las 5 estaciones con mayor correlación (**d** con 1^oCP, **e** con 2^oCP, **f** con 3^oCP). Se indica el nivel de significancia del calentamiento otoñal (■).

1.2.5. Diferencias entre la marcha anual de la temperatura media de las décadas del '80 y del '70

Para la serie diferencia $d32$ se encuentra que las tres primeras componentes explican el 88% de la varianza total. En las Figuras 1.4a a 1.4c se presentan los tres campos de correlación que resultan de la aplicación del método propuesto donde surgen las mismas tres zonas identificadas en el punto 1.2.4. En las Figuras 1.4d a 1.4e se muestra la comparación entre las tres primeras componentes principales retenidas y el promedio de las 5 estaciones con mayor correlación. De esto último resulta:

Zona sudeste: (ver Figura 1.4d) describe el comportamiento de la región comprendida por las provincias de Buenos Aires, sur de Entre Ríos y centro de La Pampa. Se observan **calentamientos** en los meses de enero a marzo y de noviembre hasta mediados de diciembre y un **enfriamiento** desde abril hasta setiembre.

Zona noreste: (ver Figura 1.4e) describe el comportamiento de la región comprendida por las provincias de Misiones, Corrientes, Chaco y Formosa donde es posible notar un **calentamiento** de abril hasta mayo, desde mediados de agosto hasta mediados de setiembre y de noviembre hasta mediados de diciembre. Se observan **enfriamientos** en la segunda mitad de enero hasta la primera mitad de febrero, desde mediados de julio a mediados de agosto y de mediados de setiembre hasta mediados de octubre.

Zona oeste: (ver Figura 1.4f) describe el comportamiento de la región comprendida por las provincias de Catamarca, San Luis, Santiago del Estero y Córdoba. Se encuentran **calentamientos** en los meses de febrero y marzo, desde mediados de agosto a mediados de setiembre y en el mes de octubre. El **enfriamiento** ocurre en enero, junio, noviembre y diciembre.

En este caso, se observa que el calentamiento otoñal en la región oeste se registra durante los meses de marzo y parte de abril, para la noreste desde mediados de marzo hasta mayo inclusive y en la región sudeste el calentamiento se da hasta mediados de abril. Estos resultados fueron testeados para un nivel de significancia del 95%, mostrándose dichos niveles en las Figuras 1.4.d a 1.4.f.

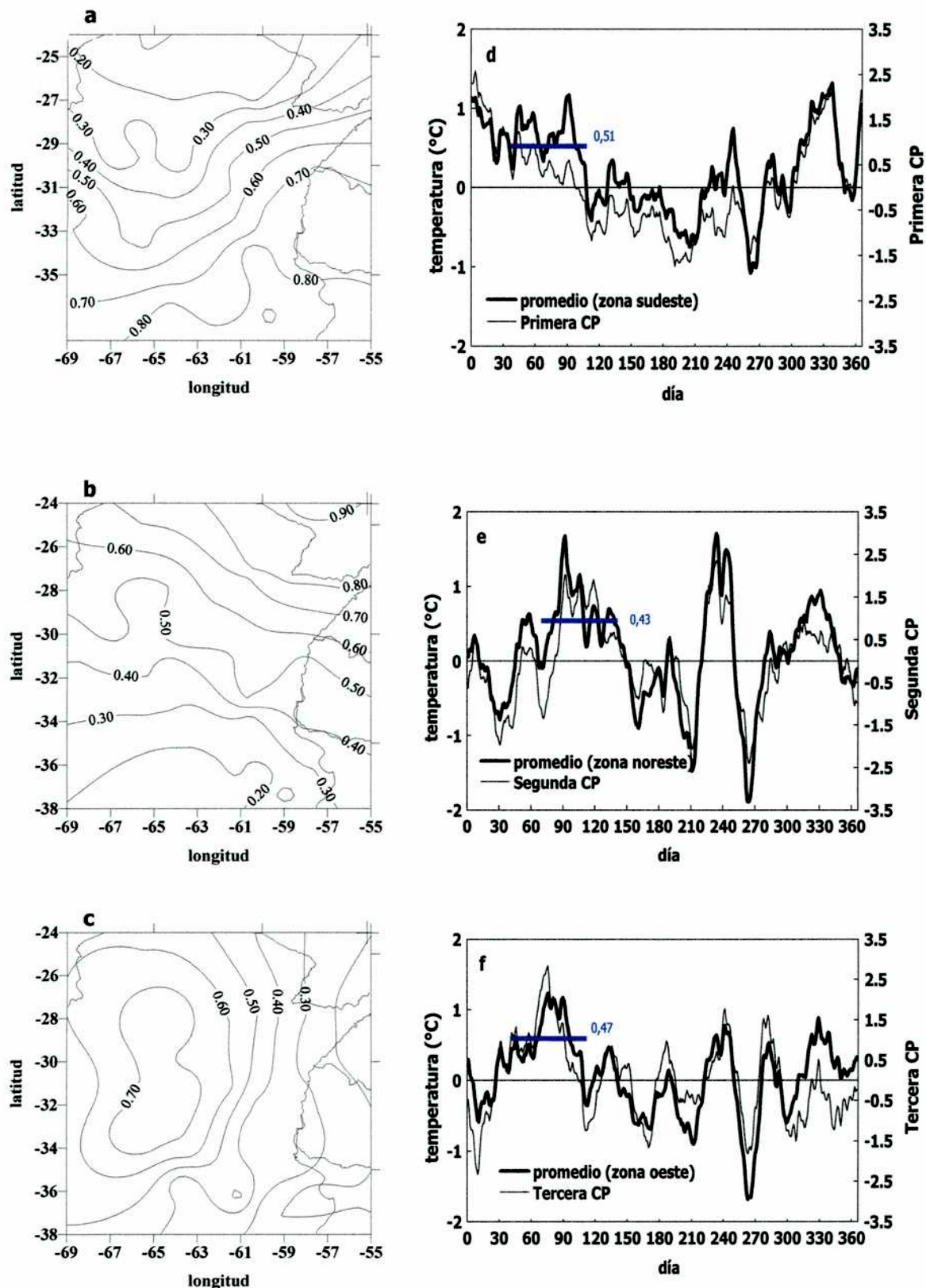


Figura 1.4. Campo de correlación de las series diferencias $d32$ con las tres componentes principales retenidas (**a** con 1^oCP, **b** con 2^oCP., **c** con 3^oCP) y comparación de las tres primeras CP con el promedio de las series diferencia $d32$ de las 5 estaciones con mayor correlación (**d** con 1^oCP, **e** con 2^oCP., **f** con 3^oCP). Se indica el nivel de significancia del calentamiento otoñal (■).

1.2.6. Resultados

Fueron analizadas las marchas anuales promediadas decádicamente de la temperatura media diaria para distintas estaciones de la Argentina al norte del paralelo 40°S, observándose variaciones en la década del '80 en tres regiones claramente distinguibles. De lo analizado surge una anomalía positiva en el otoño durante la década del '80 como una de las señales del cambio que se ha experimentado fundamentalmente en el litoral y provincia de Buenos Aires. Si bien la década del '80 fue la más cálida de las consideradas, existen meses donde se observa una señal clara de enfriamiento, como ocurre en el mes de junio en la mayoría de las estaciones estudiadas.

1.3. La temperatura media mensual

La temperatura media mensual como variable derivada depende intrínsecamente de los valores diarios que dependen a su vez de los valores mínimos y máximos. Si bien todos los meses presentan singularidades existen meses donde esta variable es más o menos representativa de lo ocurrido.

Existen regiones en el mundo donde el comportamiento de la temperatura mensual está influenciada fuertemente por un solo factor. Un ejemplo de esto puede apreciarse en la Figura 1.5, donde se muestra la evolución de la temperatura diaria durante enero 2001 en la estación Puerto Montt (Chile) junto con el promedio mensual climatológico para ese mes y el promedio correspondiente a enero 2001. La anomalía fría observada, de valor absoluto de poco más de 1°C, puede ser explicada en gran medida por la anomalía térmica del mar adyacente (ver Figura 1.6).

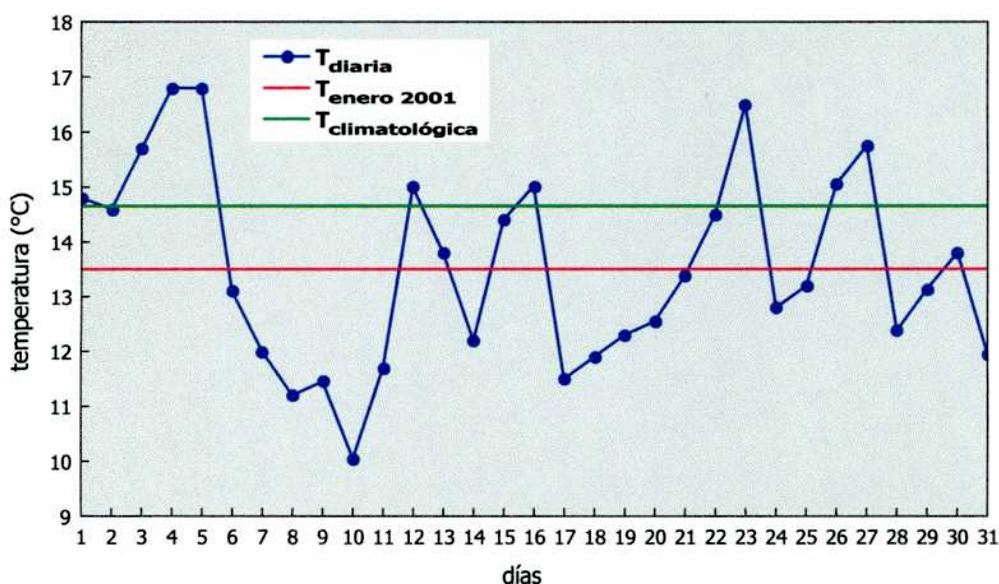


Figura 1.5. Marcha de la temperatura diaria en Puerto Montt (Chile) para enero 2001.

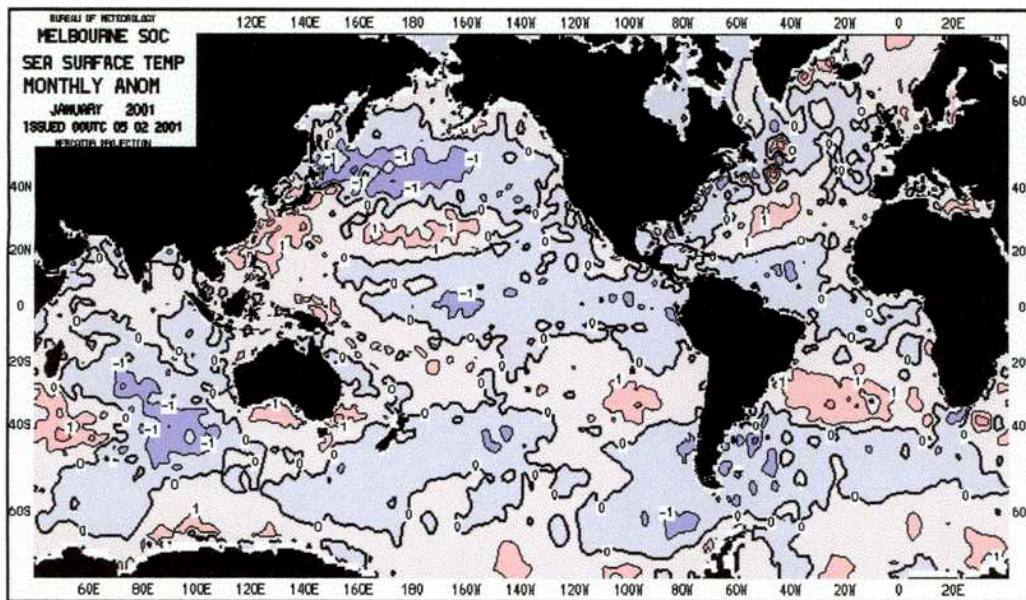


Figura 1.6. Anomalías de la temperatura de la superficie del mar para enero 2001.

Frecuentemente es posible hallar meses donde la temperatura media de ese mes para un año particular fue levemente por encima de los valores normales producto de uno o varios pasajes de sistemas frontales, mientras que ese mismo mes durante otro año fue igualmente cálido pero producto de temperaturas medias diarias por encima de los valores normales durante la mayor parte de los días. Un ejemplo de esta situación se presenta en la Figura 1.7 donde se muestran las temperaturas medias diarias en la estación Buenos Aires Observatorio Central para el mes de julio de los años 1997 y 1998. En ambos casos la media del mes fue 13.1°C , lo que representa una anomalía cálida de 2.1°C con respecto al valor medio climatológico de 11°C . Sin embargo, el desvío estándar fue particularmente diferente ya que en el año 1997 fue de 4.60°C mientras que en 1998 fue de sólo 1.67°C .

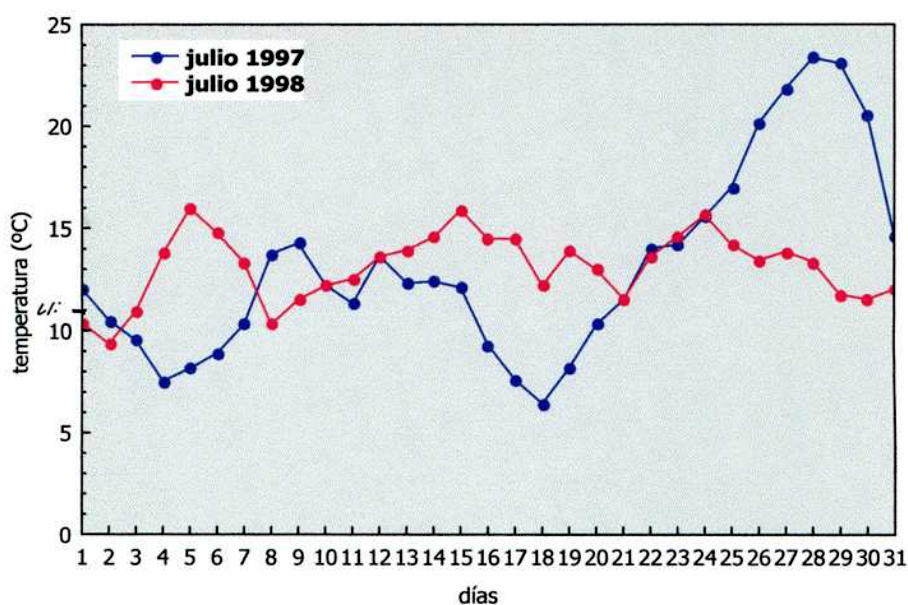


Figura 1.7. Ejemplo de dos marchas mensuales de temperatura media diaria en la ciudad de Buenos Aires del mes de julio.

Dado que la temperatura media mensual es calculada como promedio de las temperaturas extremas es importante tener en cuenta que el aporte de las temperaturas mínima y máxima a la variabilidad interanual de la temperatura media puede ser diferente tanto espacialmente como según los meses del año. A modo de ejemplo de esta situación, en la Figura 1.8 se presentan las anomalías de la temperatura media, mínima y máxima en la estación Laboulaye para el período 1960-90 y para los meses enero y junio. Se observa que durante el verano, la variabilidad de la temperatura máxima ($\sigma_{T_{\text{máx}}} = 4.2^{\circ}\text{C}$) es superior a la de la temperatura mínima ($\sigma_{T_{\text{mín}}} = 2.2^{\circ}\text{C}$) mientras que en el invierno esta situación se invierte: $\sigma_{T_{\text{máx}}} = 2.1^{\circ}\text{C}$ y $\sigma_{T_{\text{mín}}} = 6.1^{\circ}\text{C}$.

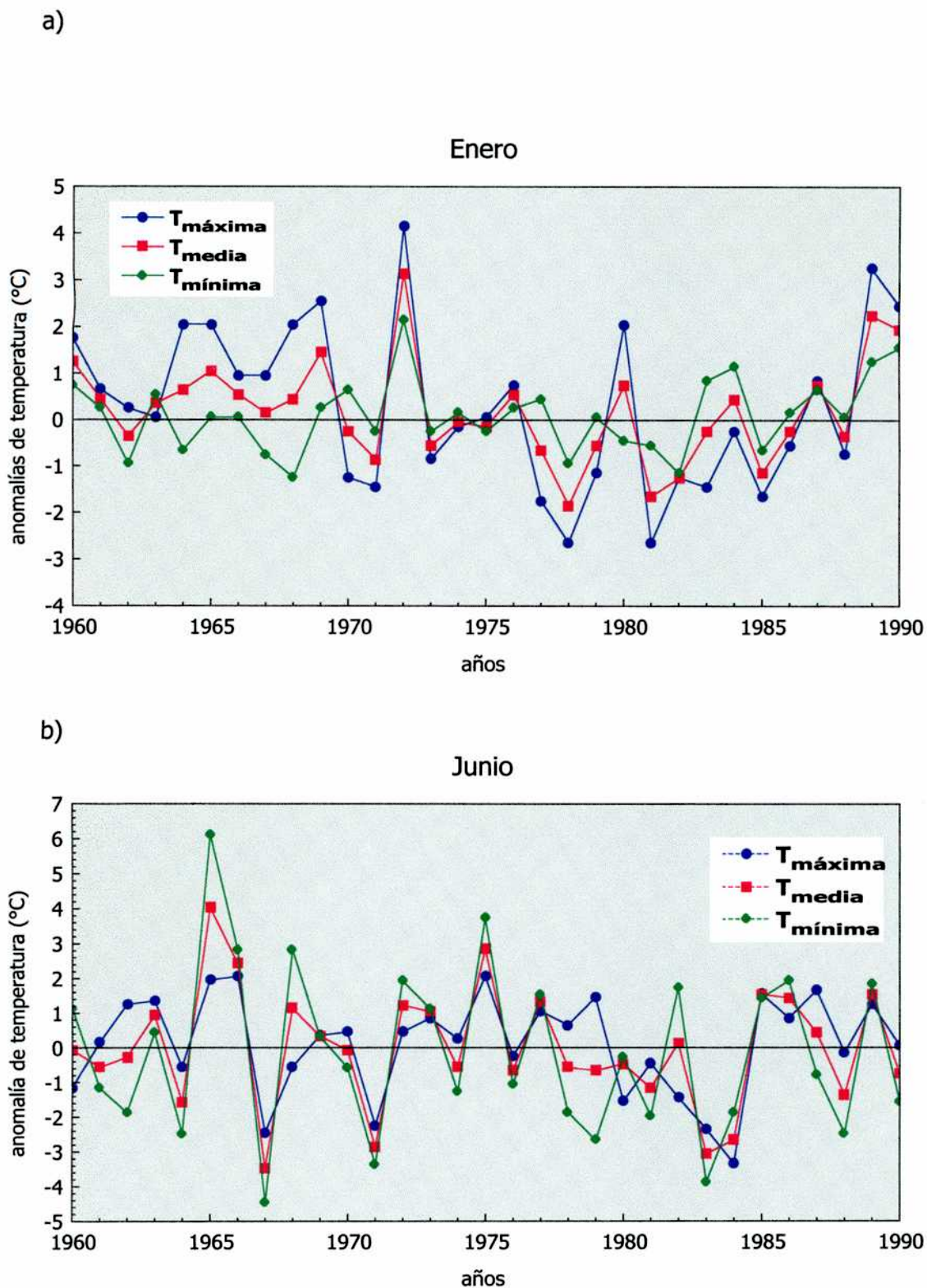


Figura 1.8. Temperatura media, mínima y máxima en Laboulaye para enero (a) y junio (b). Período: 1960-90.

1.4. Conclusiones

Del análisis presentado surgen las motivaciones para la realización de este estudio así como las limitaciones impuestas por el tipo de variable a analizar. Se encuentra que:

La variación interdecádica de la temperatura en Argentina subtropical es diferente para las distintas épocas del año y es indicadora de que los procesos actuantes en la variación interanual de la temperatura pueden ser distintos a lo largo del año y para las diferentes subregiones.

Es a partir de estos resultados que surgen los objetivos de esta Tesis en la búsqueda de avanzar en el conocimiento de qué factores son los determinantes para establecer la temperatura media en Argentina subtropical para cada época del año.

1.5. Objetivos

Tal como se expuso anteriormente, los cambios observados en las últimas décadas con respecto a la temperatura media mensual en Argentina subtropical y particularmente durante el otoño han resultado como disparador para realizar un estudio detallado sobre los factores que determinan la temperatura media mensual en esa región. Esto se suma a que en los últimos años ha habido un interés creciente en el pronóstico a largo plazo de la temperatura media mensual alentado principalmente por la importancia que reviste esta variable para el comportamiento del mercado energético. Este requerimiento de pronóstico de la temperatura media mensual ha resultado en la necesidad de analizar en profundidad los distintos factores que la determinan. Si bien a grandes rasgos, la influencia de estos factores es conocida, no existe hasta el presente un estudio detallado en el que se analice para cada mes la relación entre la temperatura media en Argentina subtropical y un conjunto de factores vinculados a los términos del balance radiativo del sistema Tierra-atmósfera, a la circulación atmosférica y a forzantes remotos como la temperatura del mar. Es importante destacar que cuando se analizan valores mensuales se debe ser muy cauto en el momento de sacar conclusiones definitivas, ya que no es posible transferir relaciones físicas conocidas a nivel diario a escalas temporales mayores: sólo se puede inferir que estas relaciones pueden tener influencia a nivel mensual pero de una forma estadística.

Por otra parte, es importante tener en cuenta algunas limitaciones ya que el valor de la temperatura media mensual no refleja la variabilidad diaria de la temperatura y por lo tanto algunos factores que la afectan en esa escala pueden no ser apreciados a nivel

mensual. Esto es que dos meses pueden tener un mismo promedio mensual pero el desvío estándar de los valores diarios es muy diferente a causa de la predominancia de distintos procesos en cada caso. Asimismo, a partir de los ejemplos presentados, se encuentra que la variabilidad de las temperaturas extremas es diferente tanto espacial como temporalmente y por lo tanto será importante analizar estas dos variables de forma de comprender los factores que afectan cada una de ellas y esclarecer su contribución a la variabilidad de la temperatura media mensual.

Los objetivos principales de este trabajo de Tesis Doctoral son:

- ♦ *Analizar las relaciones existentes entre la temperatura media mensual y distintas variables atmosféricas: nubosidad, humedad del suelo, temperatura de los mares adyacentes y la circulación para los distintos meses del año en el norte y centro de Argentina.*
- ♦ *Determinar si alguno de los factores antes mencionados es dominante.*
- ♦ *Encontrar una fórmula de síntesis entre los distintos factores.*

El presente trabajo se encuentra organizado de forma que en los Capítulos 2 y 3 se analizan factores que están relacionados con el balance energético del sistema: la nubosidad (**Capítulo 2**) y el contenido de humedad del suelo (**Capítulo 3**). En el **Capítulo 4** se analizan los factores asociados a la circulación: número de pasaje de sistemas frontales en superficie y la posición del viento máximo en 200 hPa. Finalmente en el **Capítulo 5** se analiza la relación entre la temperatura de superficie y la temperatura del mar de los océanos Atlántico y Pacífico y en el **Capítulo 6** se presenta el análisis de la importancia relativa de cada factor analizado para los distintos meses del año. En el **Capítulo 7** se presentan las conclusiones.

CAPÍTULO 2

Relación entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y la cobertura nubosa

2.1. Introducción

La cobertura nubosa representa una importante barrera de la radiación solar incidente debido a su elevado albedo que hace que, en promedio, las nubes sean responsables de reflejar aproximadamente el 20% de la radiación solar incidente en el tope de la atmósfera (Trenberth y otros, 1996). Esta reflectividad es función del espesor y el tipo de nube. Por ejemplo, mientras que un delgado cirrus posee un albedo de 0.4, los stratocumulus rondan 0.6 y se alcanzan albedos de 0.9 en cumulonimbus (Hewson y Longley, 1944). Sin embargo, estos valores no son constantes a lo largo del año y varían de acuerdo con el ángulo de incidencia de los rayos solares. Por otro lado, la radiación de onda larga terrestre, en presencia de cielos cubiertos, se ve impedida de poder escapar hacia el espacio al entrar en un proceso de absorción y reirradiación ya que la nubosidad es prácticamente opaca a este tipo de radiación (Manabe y Strickler, 1964).

Estos dos factores, el alto albedo y la absorción de la radiación de onda larga terrestre por parte de las nubes, se expresan en la temperatura del aire que representa muy bien los desequilibrios temporarios que surgen del balance energético radiativo haciendo disminuir las máximas diarias, elevando las temperaturas mínimas y como resultado de esto atenuando la amplitud térmica diaria.

Sin embargo, la nubosidad a nivel mensual y su relación con la temperatura máxima, media y mínima no ha sido evaluada adecuadamente en muchas regiones. En este capítulo, se analiza el comportamiento de la cobertura nubosa en relación con estas variables térmicas en los distintos meses del año para un conjunto de estaciones meteorológicas en Argentina subtropical.

2.2. Datos y metodología

Con el objeto de analizar la relación existente entre las variables térmicas y la cobertura nubosa, se utilizó la información diaria de la cantidad total de cielo cubierto expresada en

octavos correspondientes a las horas locales 09 y 15 de las estaciones consignadas en la Tabla 1.1 pertenecientes a la red del Servicio Meteorológico Nacional, para el período 1959-1990. Los valores de nubosidad considerados fueron promediados y luego estandarizados mensualmente con el fin de contar con series mensuales de nubosidad. Asimismo, se realizó el mismo procedimiento para las temperaturas media, mínima y máxima diarias de forma de obtener series mensuales estandarizadas de cada variable para las mismas estaciones indicadas en la Tabla 1.1.

Con el objeto de analizar la relación entre la nubosidad y las distintas variables térmicas, para cada mes se realizaron las siguientes correlaciones lineales:

- nubosidad de la hora 09 - temperatura mínima
- nubosidad de la hora 15 - temperatura máxima
- nubosidad de la hora 09 - temperatura media

2.3. Relación entre la cobertura nubosa y la temperatura mínima

La Figura 2.1 muestra los campos de correlación entre las series mensuales de temperatura mínima y la cobertura nubosa de la hora 09 para los distintos meses del año ordenados en verano (diciembre a febrero) y otoño (marzo a mayo) en la Figura 2.1a e invierno (junio a agosto) y primavera (septiembre a noviembre) en la Figura 2.1b. La significancia de los valores representados en los mapas fue estimada a través del test t de Student de forma que son significativos para un nivel del 95% cuando son mayores, en valor absoluto, que 0.31 (Brooks y Carruthers, 1953). En la Figura se pueden observar particularidades según los meses del año y las distintas zonas de la región en estudio, pero el predominio de correlaciones positivas es claramente apreciado, excepto durante el mes de diciembre donde aparecen algunas correlaciones negativas. En la mayoría de los meses se observa que la relación entre la nubosidad y la temperatura mínima es débil en la región oeste probablemente debido a la baja nubosidad que caracteriza esta región.

Durante los meses estivales de enero y febrero las correlaciones son bajas y no muy significativas y hasta se sugiere un cambio de signo en la región central, principalmente en las estaciones correspondientes a las sierras de Córdoba. A medida que avanzan los meses y nos acercamos al invierno las correlaciones positivas alcanzan valores mayores y se encuentran cubriendo prácticamente la totalidad de la región de estudio en abril. Las máximas correlaciones se obtienen en las provincias de Buenos Aires, centro y sur de

Santa Fe y Córdoba en los meses de mayo, junio y julio. En los meses de primavera las correlaciones se mantienen en la pampa húmeda y el litoral durante septiembre y octubre, mientras que en noviembre el campo de correlación se asemeja al de los meses de verano.

Estos resultados indican que en general la relación conocida en escala sinóptica de que la nubosidad actúa impidiendo un descenso marcado de la temperatura mínima debido a la modificación de algunos de los términos del balance de energía se verifica a grandes rasgos en escala climática. Esto es particularmente cierto en el período entre marzo y octubre, en el que la relación directa entre temperatura mínima y nubosidad se registra en la mayor parte del área de estudio. No obstante ello, se puede determinar que la mayor respuesta entre ambas variables se registra durante fines del otoño y el invierno hacia la regiones sur y este del área de estudio.

2.4. Relación entre la cobertura nubosa y la temperatura máxima

La Figura 2.2 muestra el campo de correlación entre las series mensuales de temperatura máxima y la cobertura nubosa de la hora 15 para todos los meses del año. Los campos de correlación se encuentran ordenados de forma que los meses correspondientes al verano y otoño se encuentran en la Figura 2.2a y los de invierno y primavera en la Figura 2.2b. Asimismo se sombrearon las correlaciones significativas a partir de $|r| \geq 0.35$. A diferencia de las correlaciones con las temperaturas mínimas, en este caso se observa una relación inversa entre la temperatura máxima y la nubosidad demostrando que el efecto observado en escala diaria de que la nubosidad inhibe el aumento de la temperatura durante las horas diurnas también está presente en escala climática.

Las mayores correlaciones negativas se presentan en los meses de verano, con valores de -0.50 y -0.60 principalmente en el norte de La Pampa, sur de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos en el mes de diciembre y en las provincias de Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe y Chaco en enero. Durante febrero las correlaciones más significativas se observan en Tucumán, Santiago del Estero, Córdoba, norte de Santa Fe y Entre Ríos y sur de Corrientes en el mes de febrero. Esta correlación empieza a disminuir en los meses otoñales en la parte oriental conservando valores significativos en el noroeste de Argentina para los meses entre marzo y mayo aunque en el mes de abril las correlaciones más importantes se obtuvieron en el oeste argentino.

En junio las correlaciones son negativas pero alcanzan valores significativos sólo en parte de la región noroccidental de Argentina. El mes que presentó menores correlaciones fue

julio no sólo en valor absoluto sino en la cobertura de la zona involucrada. En agosto se observan correlaciones negativas en todo el territorio con valores significativos salvo en las proximidades de las sierras de Córdoba. Los campos de correlación correspondientes a los meses de primavera muestran durante septiembre y octubre correlaciones significativas especialmente en la región oeste mientras que en noviembre el área de mayor significancia se encuentra desplazada hacia el este.

La relación inversa entre la temperatura máxima media mensual y la nubosidad es especialmente apreciable durante la primavera y el verano hacia las regiones norte y oeste del área de estudio mostrando una respuesta prácticamente complementaria, tanto a nivel espacial como temporal, a la relación entre la temperatura mínima media mensual y la nubosidad.

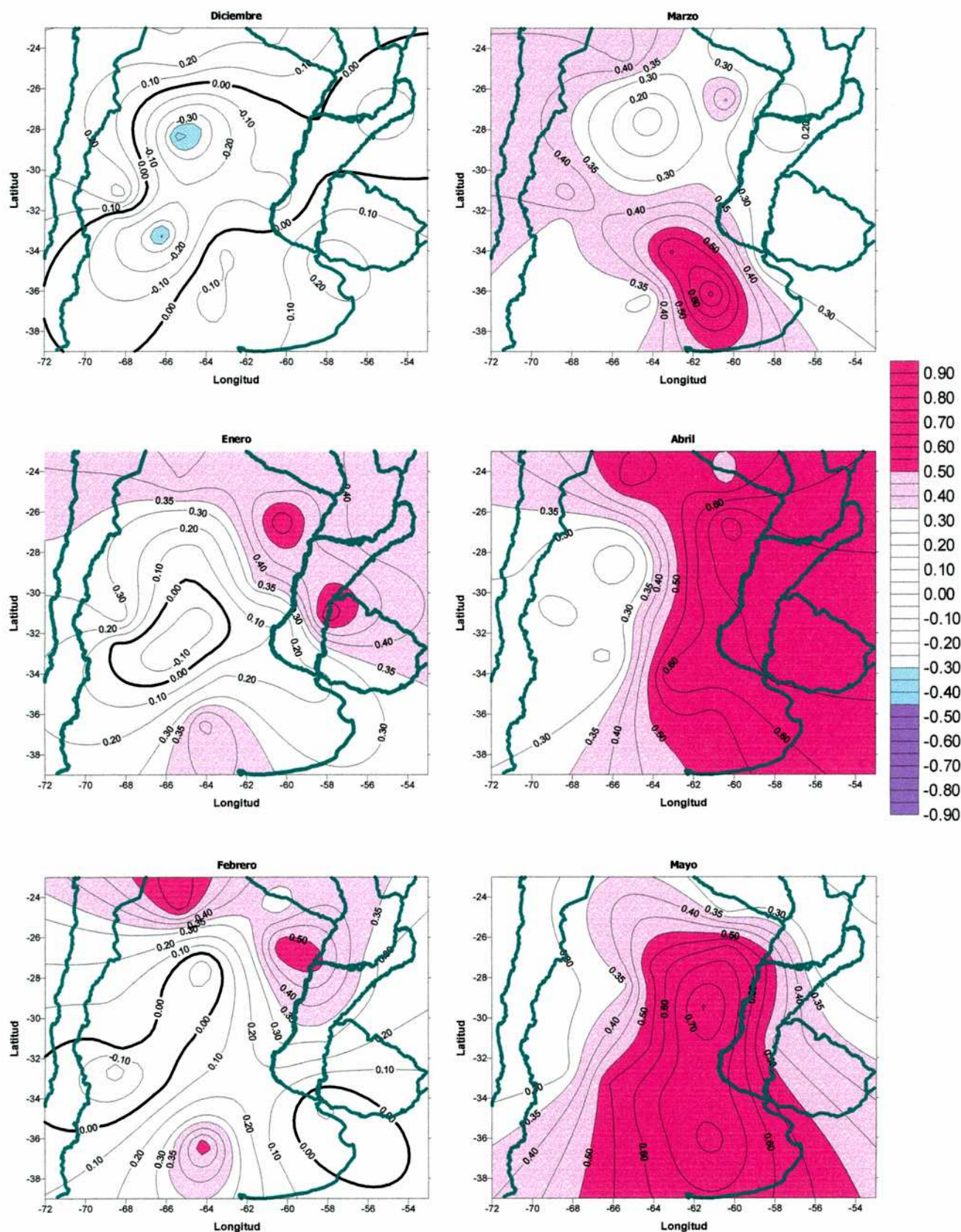


Figura 2.1a. Campos de correlación lineal entre temperatura mínima y la cobertura nubosa de la hora 09 para los meses de diciembre a mayo. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

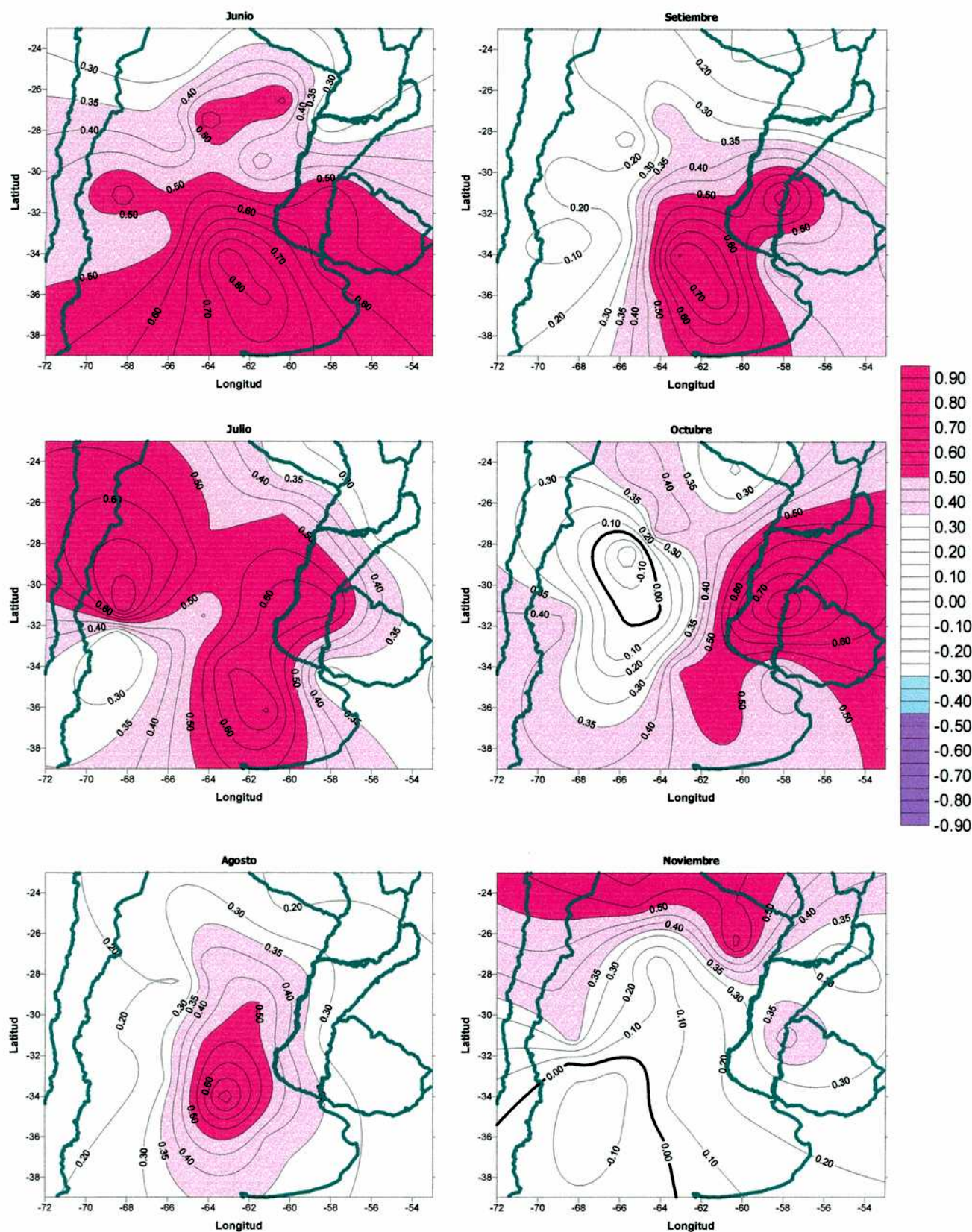


Figura 2.1b. Campos de correlación lineal entre temperatura mínima y la cobertura nubosa de la hora 09 para los meses de junio a noviembre. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

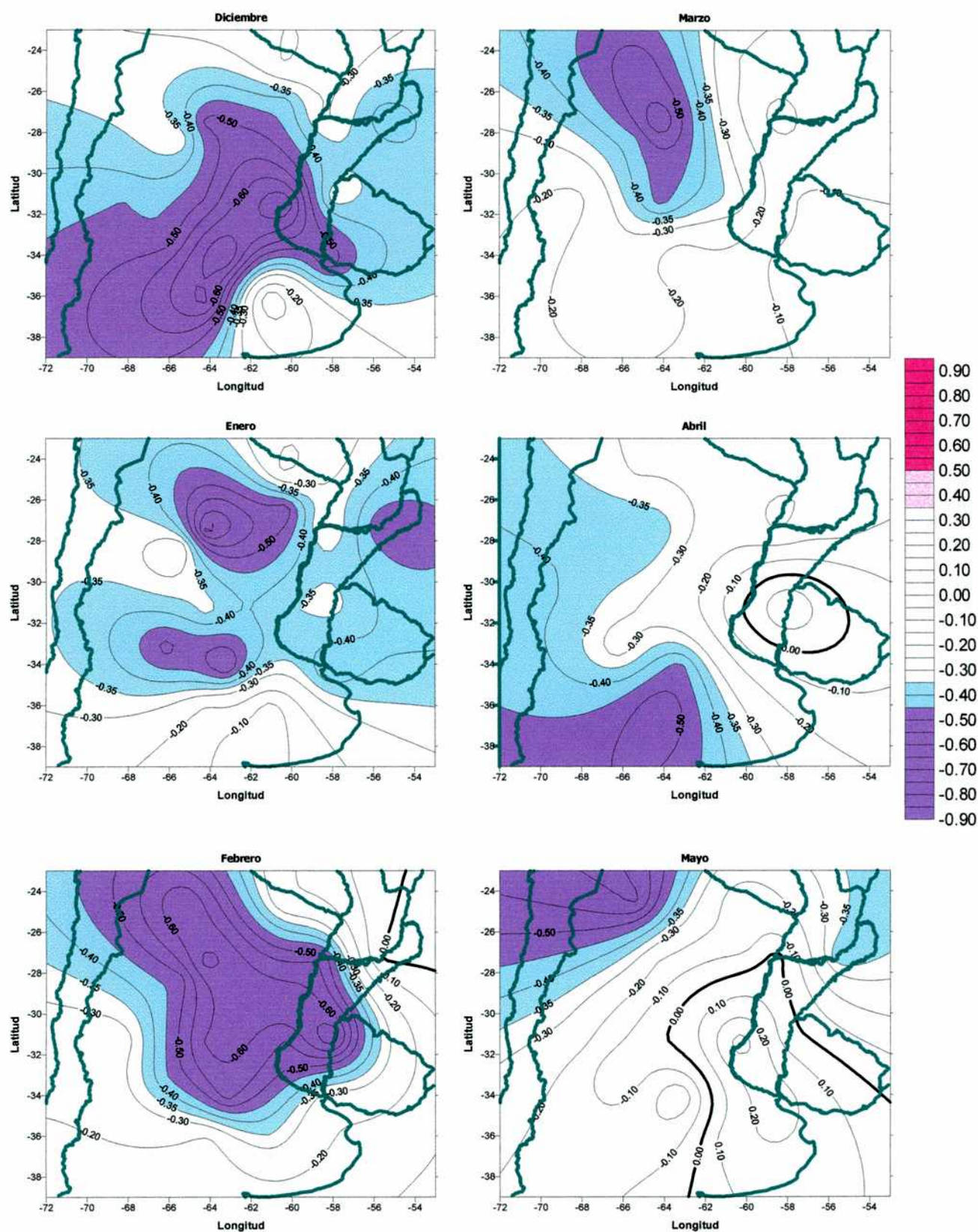


Figura 2.2a. Campos de correlación lineal entre la temperatura máxima y la cobertura nubosa de la hora 15 para los meses de diciembre a mayo. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

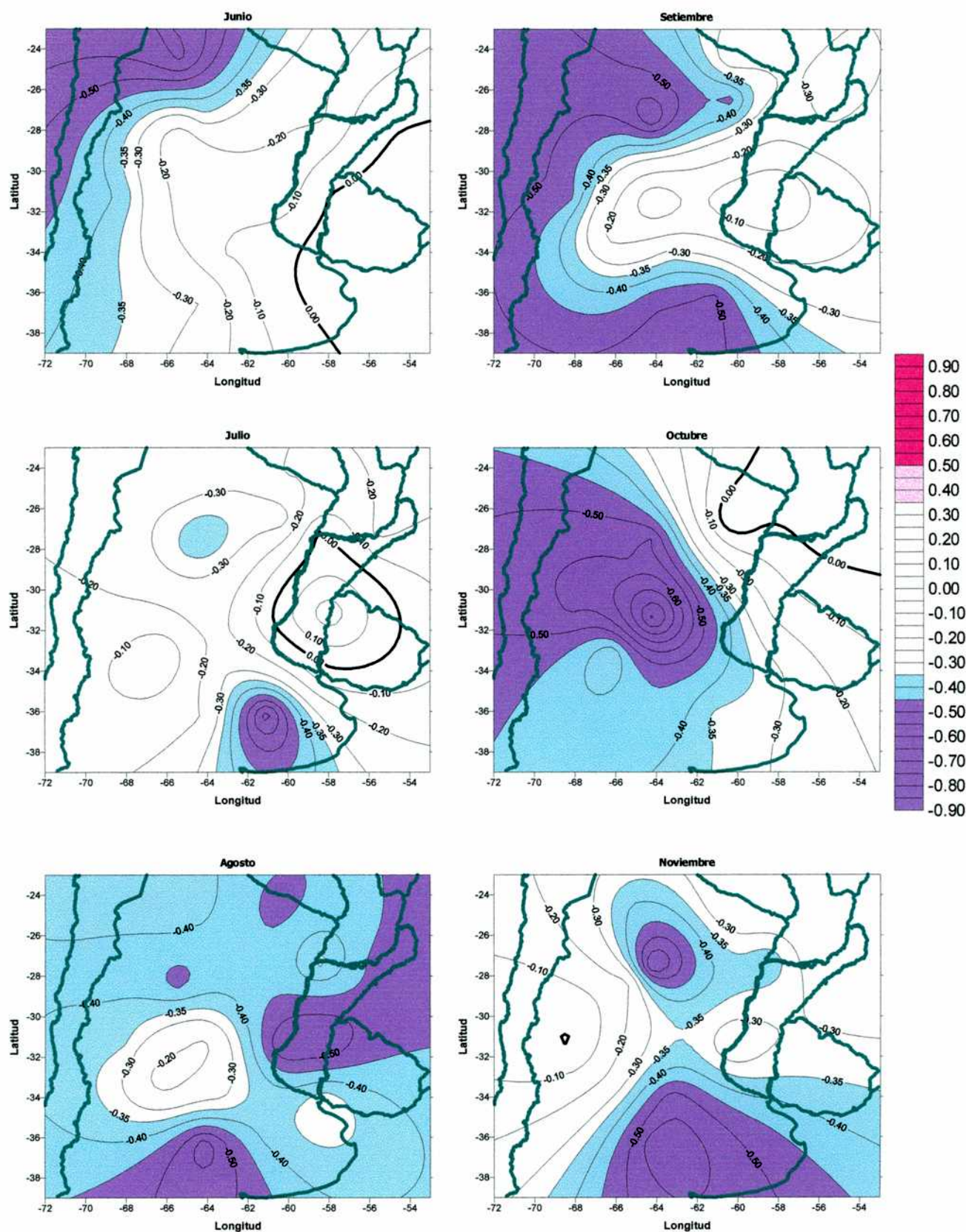


Figura 2.2b. Campos de correlación lineal entre la temperatura máxima y la cobertura nubosa de la hora 15 para los meses de junio a noviembre. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

2.5. Relación entre la cobertura nubosa y la temperatura media

Los campos de correlaciones entre la temperatura media y la cobertura nubosa de la hora 09 para todos los meses del año se presentan en la Figura 2.3. En la Figura 2.3a se presentan los campos de correlación correspondientes a los meses de verano y otoño y en la Figura 2.3b los de invierno y primavera. Las correlaciones significativas $|r| > 0.35$ se encuentran sombreadas. En este caso se observan varias particularidades siendo la más significativa que según el mes la relación entre la temperatura y la nubosidad medias mensuales puede tener distinto signo.

La Figura muestra que a partir del mes de octubre dominan las correlaciones negativas pero mientras que en octubre las correlaciones más altas se encuentran en las estaciones de Santa Fe y Córdoba, en noviembre predominan en las provincias de La Pampa, Córdoba, el oeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero. La relación entre las temperaturas medias y la nubosidad en el mes de diciembre es marcadamente negativa en casi toda la región alcanzando valores de correlación de -0.6. En enero y febrero la relación en el centro de la Argentina es marcadamente negativa, mientras que en el sector sur y la parte marítima de la zona de estudio no existe correlación o es levemente positiva. En el mes de marzo se nota más definidamente este comportamiento, con correlaciones negativas en el norte y positivas hacia el sur. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Rusticucci y Penalba (2000) quienes analizaron la correlación mensual entre la temperatura y la precipitación de un conjunto de estaciones en el sur de Sudamérica. Sus resultados muestran una relación inversa entre la temperatura y la precipitación en el centro-oeste de Argentina para los meses entre diciembre y abril que es extrapolable a la relación inversa hallada entre la temperatura y la nubosidad. En el Capítulo 5 se discutirá la importancia del Océano Atlántico en la determinación de esta relación inversa entre la temperatura media mensual y la nubosidad durante los meses cálidos.

En el mes de abril las correlaciones positivas dominan en territorio por sobre las negativas (circunscriptas a la provincia de Córdoba, Catamarca y San Juan). Este patrón se acentúa aún más en los meses de junio y julio con correlaciones positivas en toda la región de estudio excepto en el mes de agosto cuando no se observan correlaciones significativas. Las correlaciones positivas en el mes de setiembre se hallan confinadas en la provincia de Entre Ríos no presentando correlaciones significativas en el resto de la región. Este resultado podría deberse probablemente a un predominio de nubosidad estratiforme durante la primeras horas del día de los meses de otoño e invierno que evitaría la ocurrencia de temperaturas mínimas marcadas.

Estos resultados muestran la influencia de las temperaturas extremas en la determinación de la relación entre la temperatura media y la nubosidad a nivel mensual. Durante el verano es dominante la relación inversa entre ambas variables y es significativa estadísticamente en la región oeste mostrando la predominancia del efecto de la temperatura máxima media mensual. Por el contrario, la relación directa que se observa entre la temperatura media y la nubosidad durante fines del otoño y comienzo de invierno es significativa en la región sur y este, revelando que la influencia de la temperatura mínima media mensual predomina sobre el efecto de la temperatura máxima en esa región.

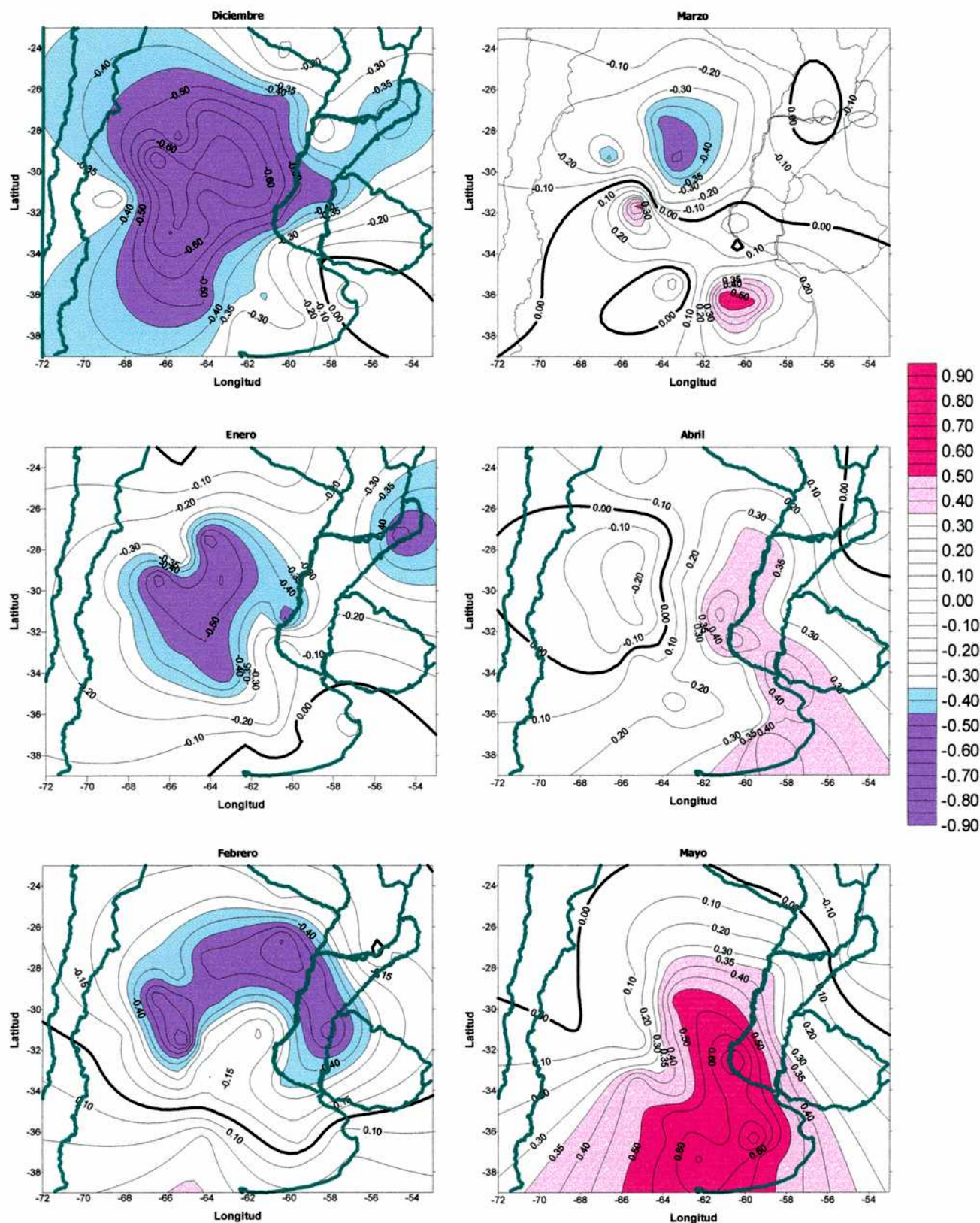


Figura 2.3a. Campos de correlación lineal entre la temperatura media y la cobertura nubosa de la hora 09 para los meses de diciembre a mayo. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

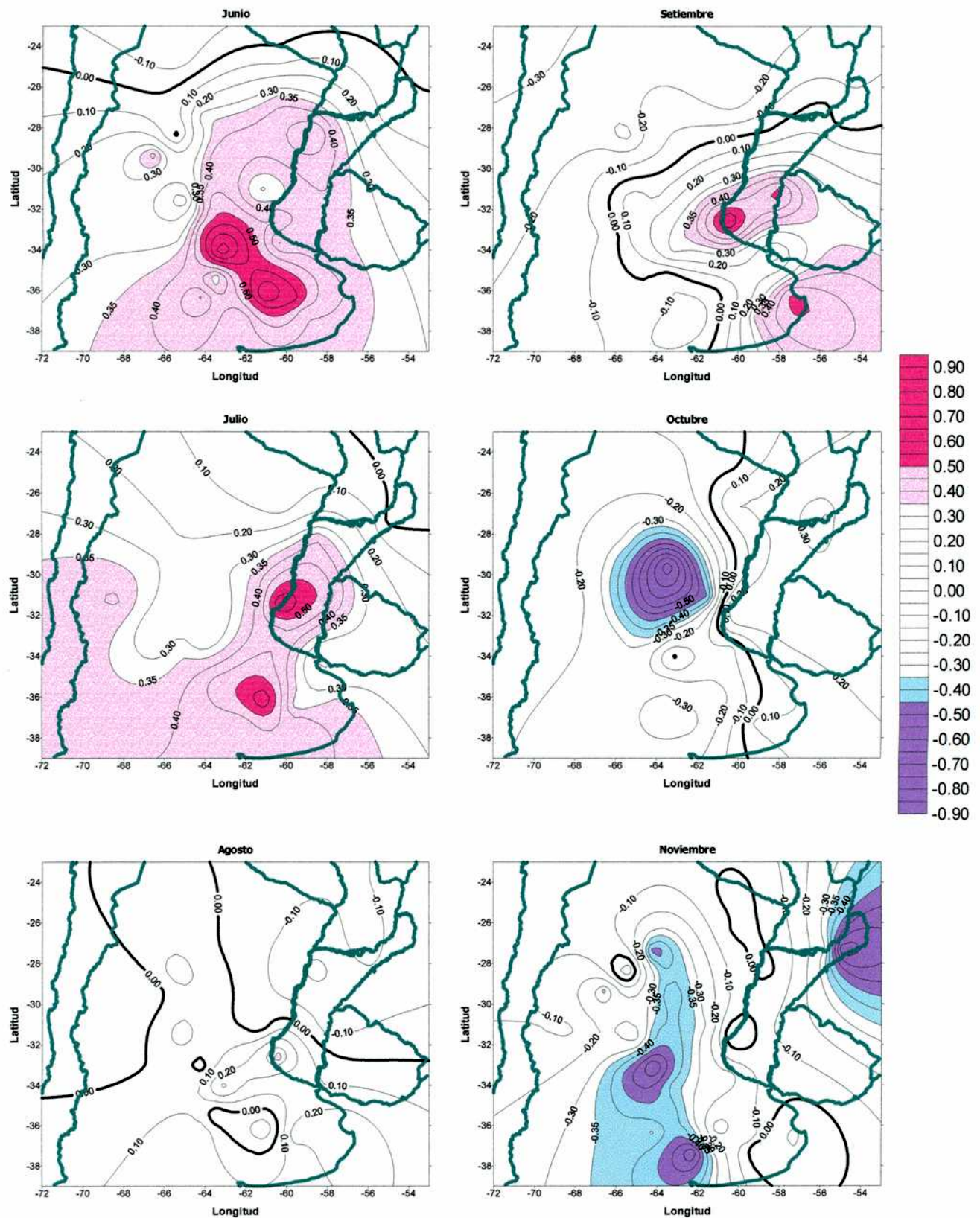


Figura 2.3b. Campos de correlación lineal entre la temperatura media y la cobertura nubosa de la hora 09 para los meses de junio a noviembre. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

2.6. Conclusiones

A partir del análisis de la relación entre las temperaturas mínima media, máxima media y media mensual y la nubosidad para un conjunto de estaciones en Argentina subtropical se encuentra que:

- *En escala mensual, la temperatura mínima media y la nubosidad se encuentran correlacionadas positivamente durante casi todos los meses del año y para la mayor parte de la región de estudio. La correlación es más débil durante el verano y más marcada y con mayor cobertura espacial durante el invierno. Esto podría deberse a la predominancia de nubosidad estratiforme durante las primeras horas de la mañana de los días de invierno que impediría la pérdida de radiación de onda larga y por lo tanto el descenso marcado de la temperatura mínima.*
- *La relación entre la temperatura máxima media y la nubosidad a nivel mensual es inversa durante todos los meses del año demostrando que el efecto observado en escala diaria de que la nubosidad inhibe el aumento de la temperatura durante las horas diurnas también está presente en escala climática. Esta asociación tiene una variabilidad espacial marcada, encontrándose las mayores correlaciones en los meses de verano.*
- *Se observa una delimitación espacial y temporal complementaria en la relación entre las temperaturas mínima y máxima y la nubosidad. La correlación con la temperatura mínima es positiva y significativa especialmente durante fines del otoño y comienzos del invierno en las regiones sur y este mientras que la correlación con la temperatura máxima es negativa y significativa principalmente durante el verano en las regiones oeste y norte.*
- *Los campos de correlaciones entre la temperatura media y la cobertura nubosa tiene la particularidad de que el signo de la correlación es distinto según la época del año. Durante el semestre cálido (octubre a marzo) predominan las correlaciones negativas mientras que entre abril y septiembre dominan las correlaciones positivas. La relación inversa observada durante los meses cálidos se debería a que domina el efecto de la nubosidad previniendo la ocurrencia de temperaturas máximas elevadas mientras que la relación directa que se*

encuentre en el semestre frío estaría asociada al efecto de la nubosidad moderando las temperaturas mínimas.

- *La influencia de las temperaturas extremas en la determinación de la relación entre la temperatura media y la nubosidad a nivel mensual varía según las regiones y épocas del año. Durante el verano predomina el efecto de la temperatura máxima con una relación inversa entre ambas variables siendo significativa estadísticamente en la regiones norte y oeste mientras que durante fines del otoño y comienzo de invierno predomina el efecto de la temperatura mínima con una relación directa entre la temperatura media y la nubosidad en las regiones sur y este.*

CAPÍTULO 3

Relación entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y la humedad del suelo

3.1. Introducción

La temperatura del aire a nivel del abrigo meteorológico, sin considerar los efectos advectivos, está condicionada fundamentalmente por el balance radiativo en el suelo. En condiciones normales, la energía que proviene del sol es aprovechada por el suelo para calentar los primeros centímetros de profundidad y luego es en parte irradiada como radiación de onda larga. Una proporción de la radiación terrestre es utilizada en calentar por conducción el aire en contacto con esta superficie y también en evaporar el agua contenida en ésta. Distintos autores han evaluado en promedio cada una de las componentes del balance energético. Por ejemplo, en la Figura 3.1 se presenta el valor medio de cada una de estas componentes calculados por Shukla y Mintz (1981) para las condiciones de suelo húmedo y seco.

Sin hacer consideraciones acerca de cómo se modificaría este esquema con los distintos tipos de suelo, queda claramente expresado a partir de la Figura que la humedad del suelo cumple un rol importante en el balance de energía y por ende en cómo se expresarán las variables térmicas. Esto fue evaluado a nivel diario por Dai y otros (1999) encontrando que la humedad del suelo en una pequeña región del estado de Kansas, Estados Unidos (39.05°N, 96.53°W) está correlacionada significativamente con la temperatura máxima durante el verano (-0.42), con el calor sensible en la misma estación (-0.33) y con el calor latente durante el otoño (0.65).

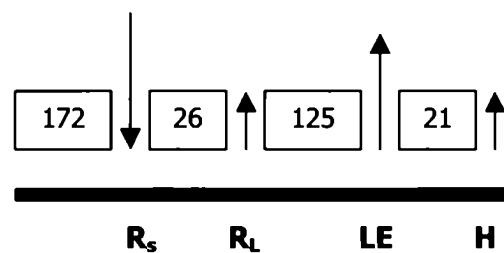
Debido a que los registros de humedad del suelo en Argentina son escasos, es que se hace necesario contar con índices que estimen esta variable de la forma más precisa posible. Varios autores han tratado el tema, entre ellos basta citar a Palmer (1965) que propuso un índice conocido como Índice de Severidad de Sequía (DSI) y el Índice de Precipitación estandarizado (SPI) propuesto por McKee y otros (1993) con el propósito de definir y monitorear sequías.

Scian (1997) y Scian y Donnari (1997) estudiaron las condiciones de sequías de la pampa semiárida a través de diferentes índices hídricos que responden a distintas escalas

temporales y metodologías de cómputo. El índice de sequía de Palmer (DSI) se basa en el concepto de demanda-suministro de la ecuación de balance hídrico y se calcula utilizando datos mensuales de temperatura y precipitación acumulada e información de las condiciones de agua disponible en el suelo mientras que el índice SPI puede ser calculado utilizando exclusivamente la información de precipitación mensual acumulada.

En este capítulo se evalúa, a nivel mensual, la relación existente entre el índice SPI y el comportamiento térmico de la región. La selección del índice a considerar se realizó basándose en el hecho de que el cómputo del índice SPI requiera de menor cantidad de información meteorológica así como en los resultados de Scian (1997) que demuestran que este índice resulta un buen indicador agronómico de las condiciones de humedad del suelo y resulta práctico para analizar las características, probabilidades, áreas de extensión y magnitudes de extremos hídricos.

a)



b)

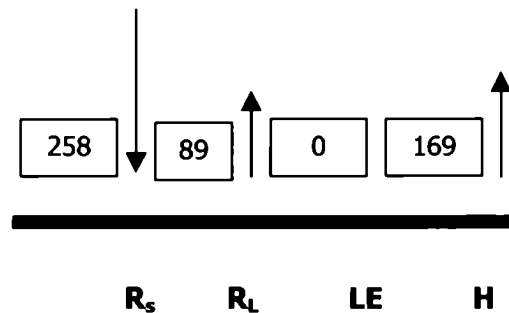


Figura 3.1. Transferencia de energía (watt/m²) en suelos húmedo (a) y seco (b) según Shukla y Mintz (1981).

donde:

R_s = radiación solar incidente en la superficie

R_L = balance de radiación de onda larga en el suelo (es la diferencia entre la emitida y absorbida por el suelo)

LE = calor latente transferido del suelo a la atmósfera

H = calor transferido del suelo a la atmósfera en el proceso de conducción y convección.

3.2. El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El SPI desarrollado por Mc Kee y otros (1993) tuvo como finalidad original definir y monitorear sequías. No obstante ello, la naturaleza del SPI permite analizar y determinar el nivel de extraordinariedad de una sequía o de un evento anómalamente húmedo en una dada escala temporal y para cualquier localidad del mundo en la que se encuentre disponible un registro de precipitación.

Dada una serie de precipitación mensual, se obtienen nuevas series de precipitación por períodos promedios seleccionados de t meses, donde t es un parámetro que puede fijarse en 1, 3, 6, 12, ... meses, asociados a las distintas escalas típicas que corresponden a los tipos de eventos secos/húmedos. A continuación, cada dato mensual es reemplazado por el total de los t meses anteriores más ese mes. La función Gamma para ajustar las distribuciones de precipitación mensual fue reconocida como una de las de mejor ajuste para la región, (Forte Lay y otros, 1984) y se la emplea para ajustar los datos históricos y para definir las relaciones entre probabilidad y precipitación. Para cada valor individual de precipitación se calcula la probabilidad teórica, y con la estimación de la normal inversa se calcula la desviación de la precipitación respecto a una distribución normal (0,1). Esta desviación es el SPI para ese dato particular de precipitación.

Por lo tanto, conceptualmente el SPI representa el número de desviaciones estándar en que el evento en estudio se encuentra por encima o por debajo de la media. En la Figura 3.2 se muestra que el SPI tendrá una distribución normal estándar con media 0 y desvío estándar 1. Esta propiedad es importante para poder realizar comparaciones entre diferentes estaciones y/o regiones.

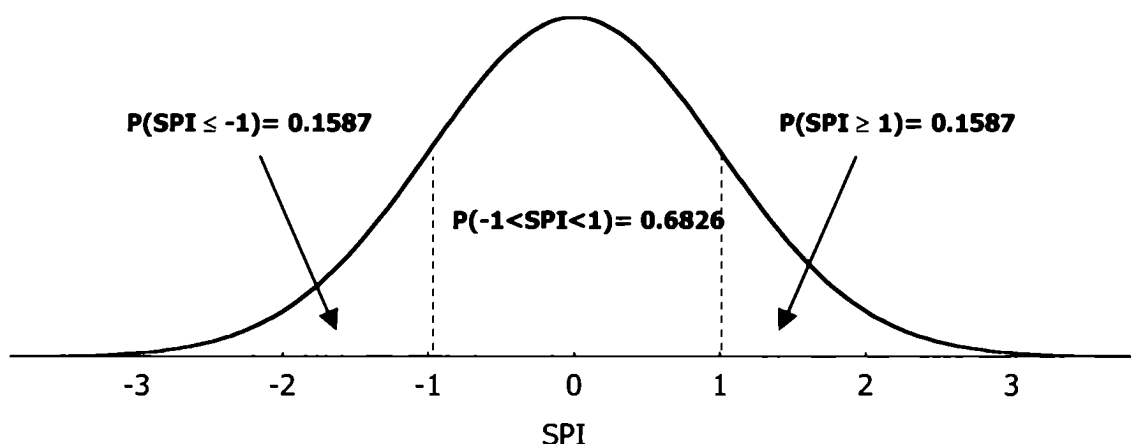


Figura 3.2. Distribución normal de SPI con media 0 y varianza 1.

3.3. Datos y metodología

Para calcular el índice SPI se utilizaron los registros de precipitación mensual de 12 estaciones argentinas pertenecientes a la red de observación del Servicio Meteorológico Nacional (ver Tabla 5.1) correspondientes al período 1959-1990. Estas estaciones fueron seleccionadas por estar localizadas al norte de 40°S y contar con al menos 30 años de información continua y completa, requisito indispensable para poder calcular el SPI.

Estación	latitud (S)	longitud (W)	altura (m)
Aeroparque	34°34'	58°25'	6
Azul	36°45'	59°50'	132
Córdoba Aero	31°39'	64°13'	474
Corrientes	27°27'	58°46'	62
General Pico	35°42'	63°45'	143
Laboulaye	34°08'	63°22'	137
Las Lomitas	24°42'	60°35'	130
Posadas	27°22'	55°58'	133
Río Cuarto	33°07'	64°14'	421
Rosario	32°55'	60°47'	25
Salta	24°51'	65°29'	1221
Santa Rosa	36°34'	64°16'	191

Tabla 3.1. Localización de estaciones meteorológicas analizadas.

Para poder contar con una serie de anomalías de humedad del suelo se calculó el SPI de un mes ($t=1$). Finalmente, se realizaron para cada una de las estaciones indicadas en la Tabla 3.1 las correlaciones simultáneas entre el SPI y las temperaturas mínima, media y máxima para los distintos meses del año. La significancia de las correlaciones es estimada a través del test t de Student de forma que son significativas para un nivel del 95% cuando son mayores, en valor absoluto, que 0.31 (Brooks y Carruthers, 1953).

3.4. Relación entre la humedad del suelo y la temperatura mínima

En la Figura 3.3 se presentan los campos de correlación entre el SPI y la temperatura mínima media mensual. Los gráficos se muestran agrupados de forma que en la Figura 3.3a se presentan los meses correspondientes al verano (diciembre a febrero) y otoño (marzo a mayo) y en la Figura 3.3b los de invierno (junio a agosto) y primavera (septiembre a noviembre). En los mapas se presentan sombreados los valores que son en valor absoluto mayores a 0.35. En la Figura se puede observar que no existe una relación significativa durante los meses de verano mientras que durante el otoño se observan correlaciones positivas en el noroeste. Durante el invierno y la primavera, nuevamente los valores de correlación hallados no son significativos. Las débiles correlaciones positivas encontradas indican que el contenido de humedad del suelo no actúa como un regulador importante de la temperatura mínima en escala climática. No obstante ello, las correlaciones positivas halladas podrían ser explicadas por el hecho de que durante la noche un suelo con bajo contenido de humedad se enfría más rápido que uno húmedo debido a su menor capacidad calorífica. Asimismo, cuando la temperatura es inferior a 0°C existe una cierta cantidad de calor liberado en el proceso de congelación del agua contenida en los suelos húmedos haciendo que los descensos de temperaturas sean menos marcados. Sin embargo, debido a que en la región de estudio no se alcanza este valor extremo de temperatura mínima, la incidencia de este efecto es nula.

3.5. Relación entre la humedad del suelo y la temperatura máxima

En la Figura 3.4 se presentan los campos de correlación entre el SPI y la temperatura máxima media mensual. Los gráficos se encuentran agrupados: verano y otoño en la Figura 3.4a e invierno y primavera en la Figura 3.4b. Se observa que la temperatura máxima es más sensible que las temperaturas mínima y media al contenido de humedad del suelo ya que se encuentran correlaciones significativas con mayor cobertura espacial y temporal. Entre octubre y marzo se observan correlaciones negativas, que entre octubre y

diciembre se localizan especialmente en el sector noroeste. En enero y febrero se mantienen las correlaciones negativas en casi toda el área de análisis excepto en el noroeste. De los meses fríos, sólo mayo presenta una región de correlación significativa en el sudoeste.

El hecho de que la temperatura máxima presente mejores correlaciones y de signo contrario que las temperaturas mínimas podría ser explicado porque una porción de la energía disponible es utilizada en el proceso de evaporación y no en el de calentamiento de la superficie. Esto es especialmente evidente principalmente cuando la energía disponible es abundante, es decir durante los meses cálidos.

3.6. Relación entre la humedad del suelo y la temperatura media

En la Figura 3.5 se presentan los campos de correlación entre el SPI y la temperatura media mensual. Los gráficos se muestran agrupados al igual que en la Figura 3.3: los meses correspondientes al verano y otoño se encuentran en la Figura 3.5a y los de invierno y primavera en la Figura 3.5b. La señal más significativa se observa en el verano, especialmente en los meses de enero y febrero en la región central en donde se encuentra una asociación inversa entre la temperatura media y la humedad del suelo.

Esta señal observada durante el verano es similar a la encontrada para la temperatura máxima, reflejando que el efecto de la humedad del suelo sobre la temperatura media es una consecuencia de la utilización del calor disponible en el ambiente en el proceso de evaporación, muy significativo durante los meses del verano. En invierno no se encontraron correlaciones significativas indicando que la capacidad calorífica del suelo no es un factor importante en la regulación de la temperatura media.

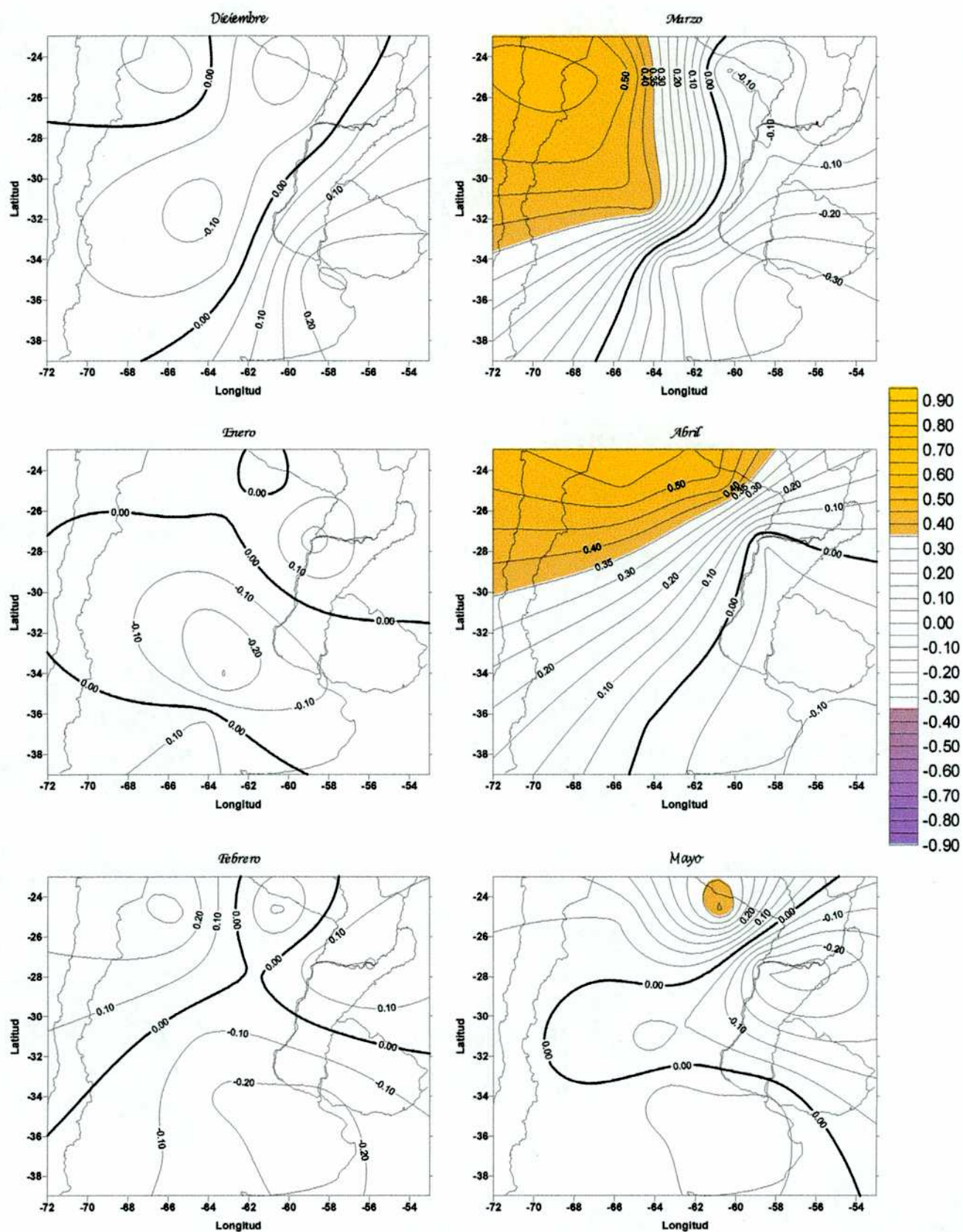


Figura 3.3a. Campos de correlación lineal entre la temperatura mínima y el índice de precipitación estandarizado (SPI) para los meses de diciembre a mayo. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

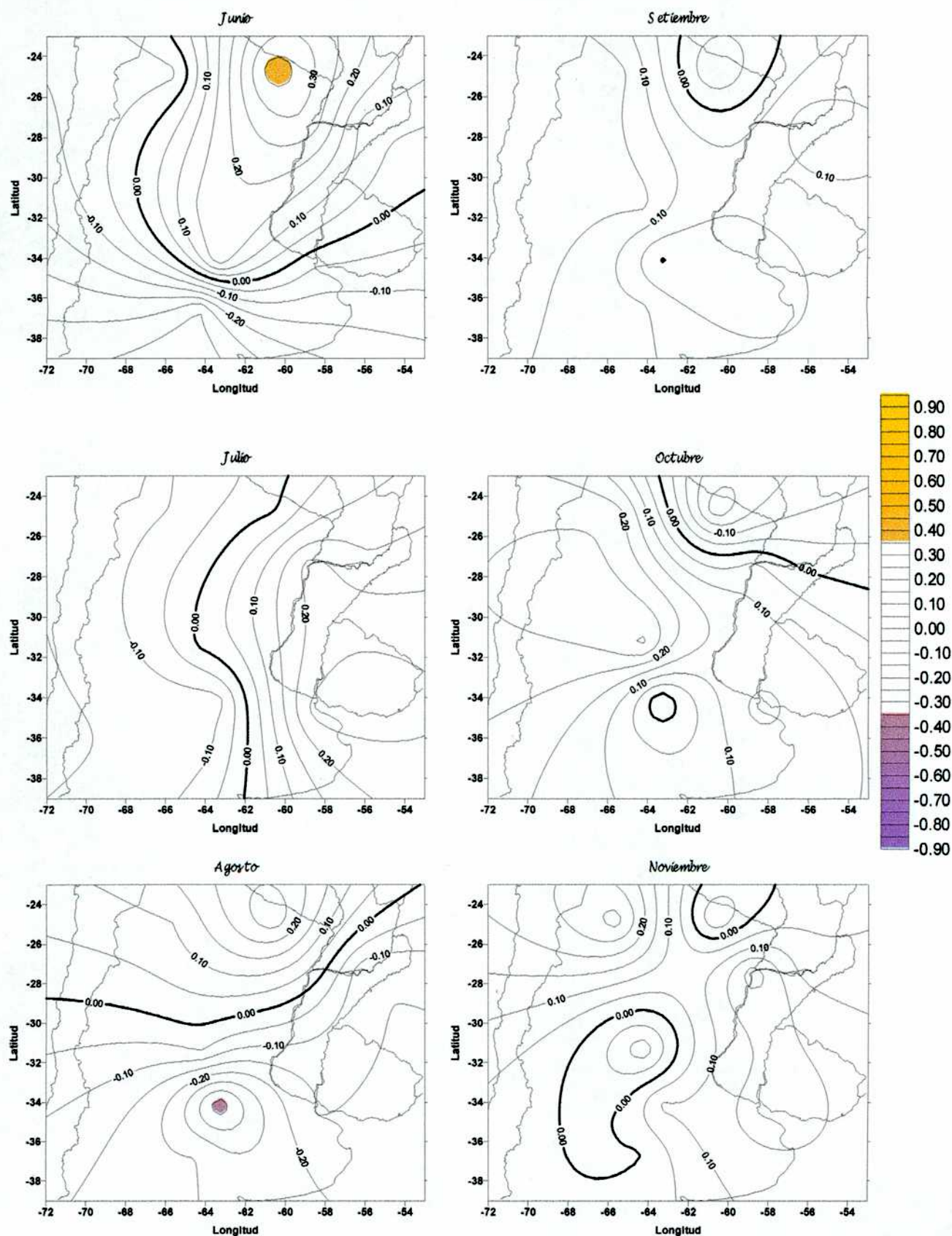


Figura 3.3b. Campos de correlación lineal entre la temperatura mínima y el índice de precipitación estandarizado (SPI) para los meses de junio a noviembre. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

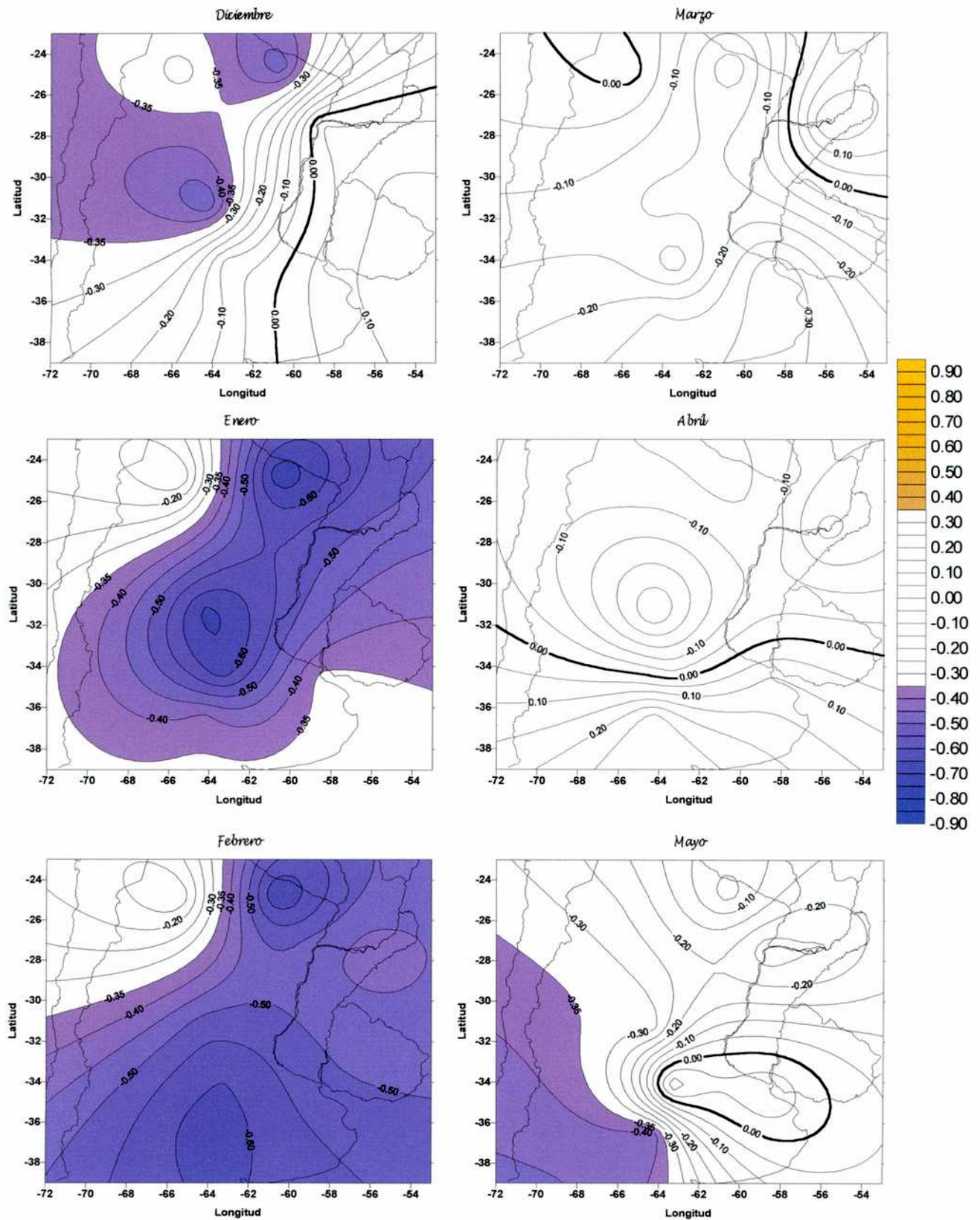


Figura 3.4a. Campos de correlación lineal entre la temperatura máxima y el índice de precipitación estandarizado (SPI) para los meses de diciembre a mayo. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

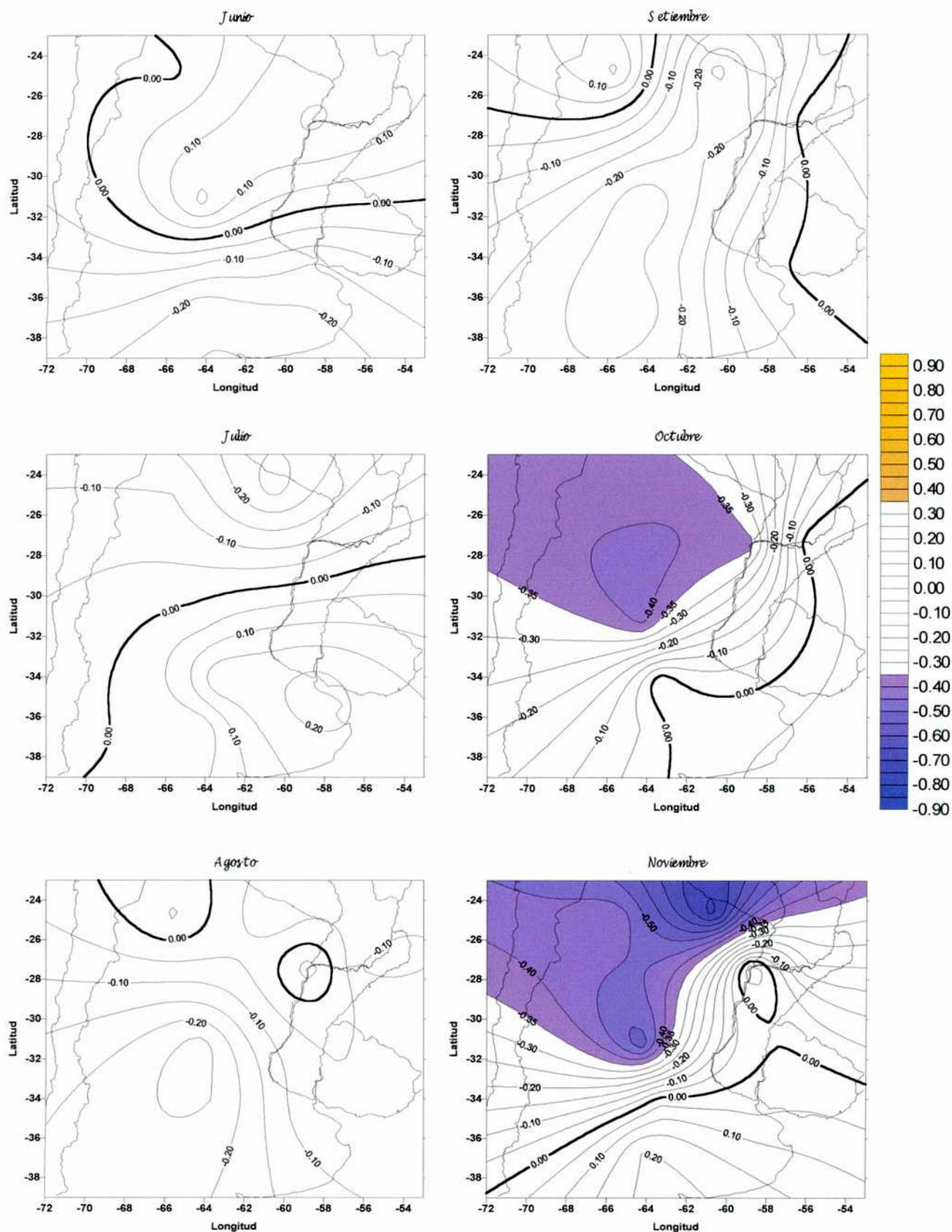


Figura 3.4b. Campos de correlación lineal entre la temperatura máxima y el índice de precipitación estandarizado (SPI) para los meses de junio a noviembre. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

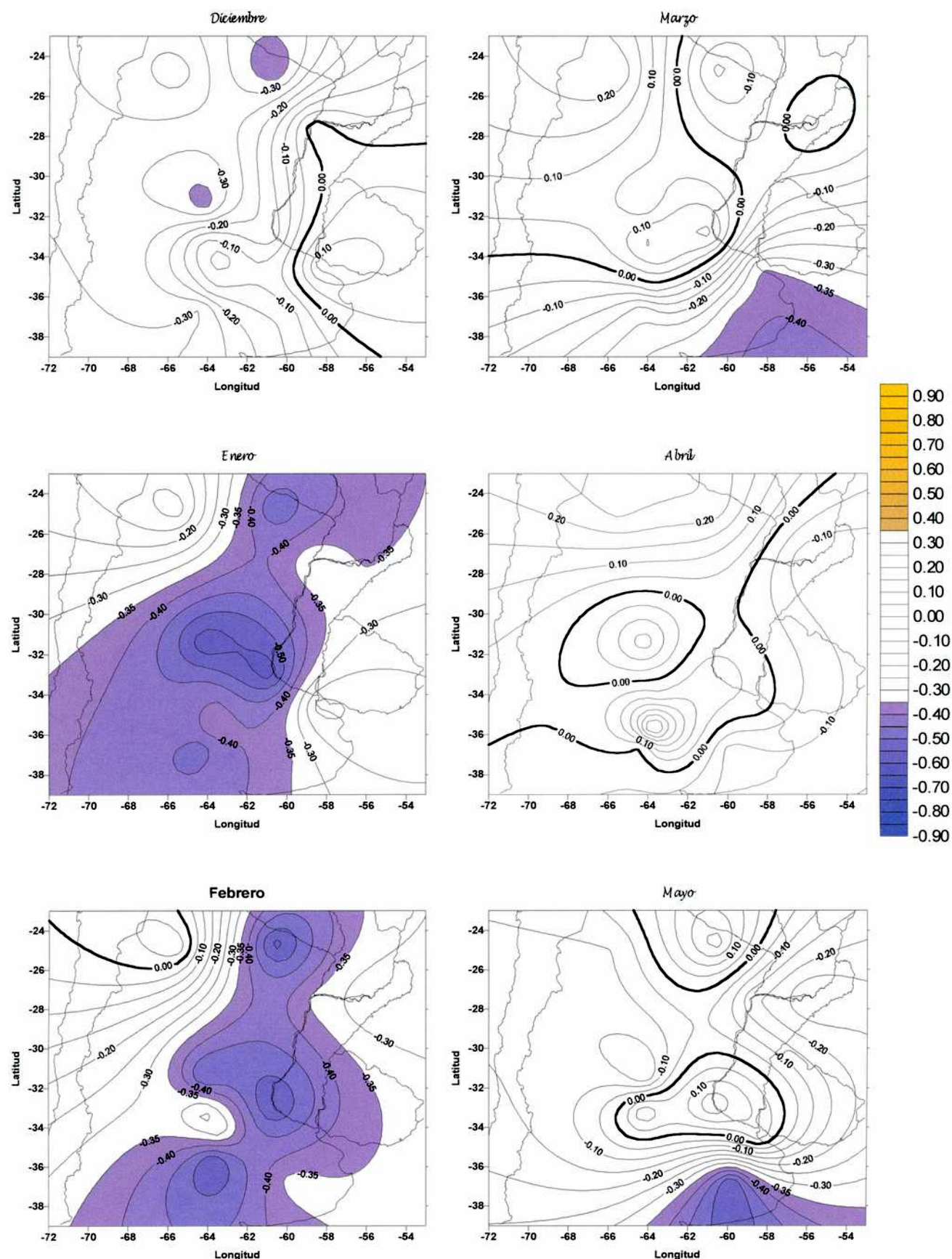


Figura 3.5a. Campos de correlación lineal entre la temperatura media y el índice de precipitación estandarizado (SPI) para los meses de diciembre a mayo. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

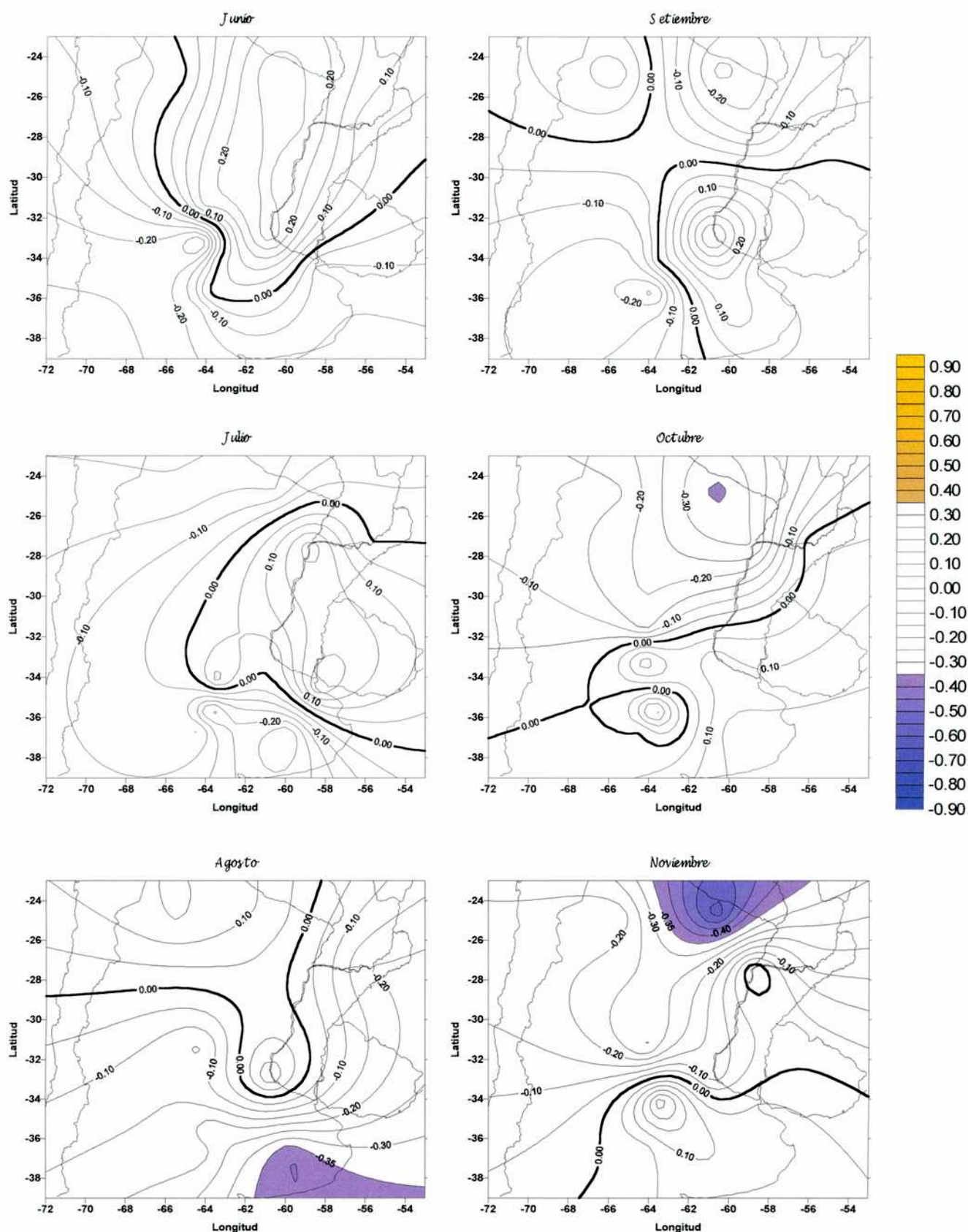


Figura 3.5b. Campos de correlación lineal entre la temperatura media y el índice de precipitación estandarizado (SPI) para los meses de junio a noviembre. Las áreas con correlaciones significativas para un nivel del 95% se encuentran sombreadas.

3.7. Algunas características de la precipitación mensual acumulada en la región de estudio

En términos generales, la escasa relación encontrada entre el contenido de humedad del suelo y la temperatura podría deberse a que gran parte de la región de estudio tiene predominancia de suelos permeables y con valores de humedad muy lejanos a los de saturación. Otro elemento a tener en cuenta es que el total mensual de precipitación en muchos casos corresponde a un solo día con precipitaciones. A modo de ejemplo, en la Figura 3.6 se presenta la frecuencia mensual normalizada de días con precipitación para los distintos meses del año para las estaciones Salta, Mendoza, Entre Ríos y Formosa. Se observa que existen fuertes contrastes: mientras que en algunas estaciones la frecuencia de días de lluvia es de 5, en otras es de más de 12 días. Estas diferencias afectan la representatividad del índice SPI cuando se lo calcula en la región de estudio ya que para su cómputo sólo se consideran totales mensuales y por lo tanto no distingue las características del régimen de precipitación (por ejemplo, torrencialidad) entre las distintas estaciones analizadas.

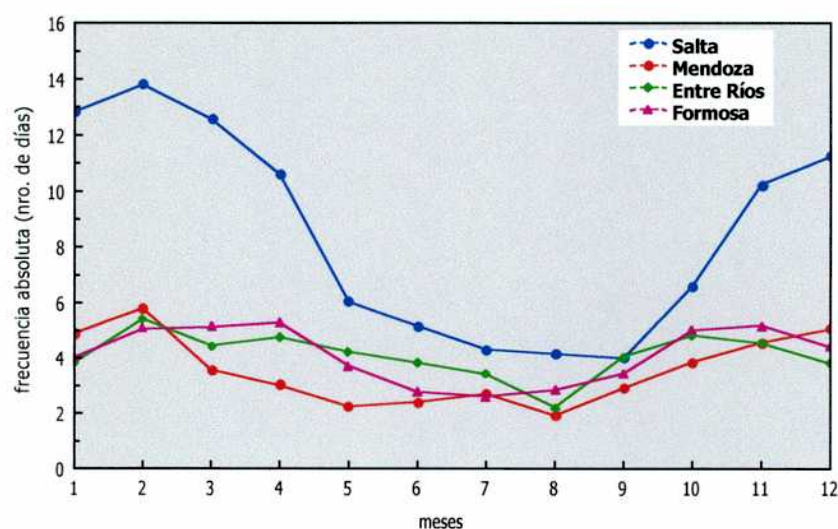


Figura 3.6. Frecuencia mensual absoluta de días con precipitación para un conjunto de estaciones en Argentina subtropical.

Otra forma de ver este efecto es mediante el porcentaje en que contribuye la precipitación máxima diaria al total mensual. En la Figura 3.7 se presenta este porcentaje para las mismas estaciones que en la Figura 3.6. Se observa que durante los meses estivales el porcentaje varía entre 0.30 y 0.55% mientras que durante el invierno el

porcentaje aumenta a valores que van de 0.55 a 0.85%.

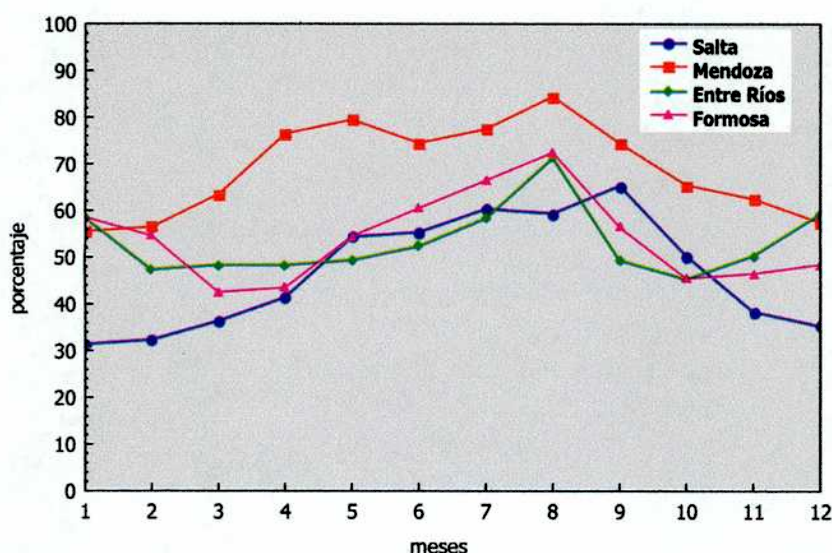


Figura 3.7. Porcentaje en que contribuye la precipitación máxima diaria al total acumulado mensual para un conjunto de estaciones en Argentina subtropical.

Si bien de lo expuesto precedentemente surge que el índice SPI no sería el más apropiado para el análisis de la relación entre el contenido de humedad del suelo y la temperatura en escala climática, los resultados obtenidos constituyen un primer indicio de la relación entre ambas variables.

3.8. Conclusiones

En este capítulo se analiza la relación en escala mensual entre el contenido de humedad en el suelo a través del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y las temperaturas mínima, máxima y media en Argentina subtropical. Los resultados obtenidos muestran:

- *correlaciones débiles de signo positivo entre la humedad del suelo y la temperatura mínima, que se explica a través del hecho de que durante la noche un suelo con bajo contenido de humedad se enfría más rápido debido a su menor capacidad calorífica en relación con suelos húmedos.*
- *correlaciones más altas y de distinto signo que para la temperatura mínima entre la humedad del suelo y la temperatura máxima. Este resultado estaría asociado a que una porción de la energía disponible es utilizada en el proceso de evaporación*

y no en el de calentamiento de la superficie. Esto se evidencia principalmente cuando la energía disponible es abundante, es decir durante los meses cálidos y es consistente con la relación observada durante el verano entre la nubosidad y la temperatura máxima.

- *La temperatura media muestra un comportamiento similar al de la máxima, principalmente durante el verano, reflejando que el efecto de la humedad del suelo sobre la temperatura media es una consecuencia de la utilización del calor disponible en el ambiente en el proceso de evaporación. En invierno no se encontraron correlaciones significativas indicando que la mayor o menor capacidad calorífica de los suelos debido a su mayor o menor contenido de humedad, no es un factor importante en la regulación la temperatura media.*

- *A partir del análisis de la frecuencia mensual de días con precipitación para los distintos meses del año y para un conjunto de estaciones se encuentra que existe una limitación en la utilización del índice SPI ya que para su cálculo sólo se consideran totales mensuales de precipitación y por lo tanto no distingue las características del régimen de precipitación. No obstante ello, los resultados obtenidos constituyen un primer indicio de la relación entre el contenido de humedad del suelo y la temperatura.*

CAPÍTULO 4

Relación entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y algunos parámetros de circulación

4.1. Introducción

La temperatura media mensual en Argentina subtropical ha experimentado distintos cambios a lo largo de las últimas décadas tal como se señaló en el Capítulo 1. Los motivos de dichos cambios pueden ser varios, pero es posible agruparlos en dos conjuntos principales:

- en una modificación del balance radiativo Tierra- Atmósfera
- modificaciones de los parámetros circulación

En el capítulo 2 se presentaron relaciones significativas entre la nubosidad de las horas 09 y 15 y las temperaturas mínima, máxima y medias diarias en Argentina subtropical, demostrando que la nubosidad es una variable importante en el balance radiativo del sistema Tierra-Atmósfera de la región y que actúa moderando las características térmicas continentales del área de estudio. Por otra parte, en el Capítulo 3 se analizó otro aspecto relacionado con el balance radiativo a través del estudio de la relación entre el contenido de humedad del suelo y la temperatura. Respecto a la circulación existen distintos elementos que podrían echar luz sobre el comportamiento de la temperatura: la baroclinicidad, la posición de los vientos máximos de la tropósfera superior y sus relaciones con la advección meridional y el pasaje de sistemas frontales. La relación entre la posición de la corriente en chorro y los sistemas frontales es bien conocida en la escala sinóptica, ya que la primera se sitúa en una zona de máximos contrastes térmicos, separando las masas frías de las calientes y se localiza encima de áreas donde ocurren grandes perturbaciones en superficie (Fedorova, 1999).

En este capítulo se presentan los resultados de analizar la relación existente, en escala climática, entre la posición de los vientos máximos en 200 hPa y el número de pasajes de perturbaciones en tres estaciones meteorológicas del centro-norte de Argentina con la temperatura media mensual con el objeto de analizar si:

1. La posición meridional de los vientos zonales en 200 hPa está vinculado a la frecuencia de irrupciones de frentes fríos hacia bajas latitudes.
2. El número de pasajes de perturbaciones en un conjunto de estaciones argentinas es una medida aproximada de la penetración de los frentes hacia el norte.

4.2. Datos y metodología

Para calcular la posición meridional del viento máximo en 200 hPa se utilizaron los campos mensuales de la componente u a partir de los reanálisis provistos por el NCEP (Kalnay y otros, 1996) para el período 1959-90. Con esta finalidad, se calculó el índice L definido como el cociente entre el promedio mensual de la componente zonal del viento en 200 hPa en la región **A** (definida por las latitudes 20°S-30°S y las longitudes 75°W-50°W) y el mismo promedio para el área **B**, delimitada entre las latitudes 30°S-40°S y las mismas longitudes (ver Figura 4.1):

$$L = u_A / u_B$$

Las áreas A y B fueron definidas según Barros y otros (2001) en función de que un desplazamiento hacia el norte de los frentes está asociado a un movimiento de las mismas características del jet subtropical produciendo de esta forma una intensificación de los oestes en el límite norte del cinturón y un debilitamiento en latitudes medias. Asimismo, cuando la zona frontal se mantiene en latitudes medias, ocurre la situación opuesta. Por lo tanto los índices u_A y u_B se construyeron con el objeto de explorar la relación entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y la relativa intensificación o debilitamiento de los oestes al norte y sur de 30°S, latitud que corresponde a la posición media del jet subtropical sobre la región de estudio (Hordij y Bordón, 1987; Doyle, 1994).

Por otra parte, se calculó el número mensual de pasajes de perturbaciones (**N**) en las estaciones Paraná, Posadas y Santa Rosa de acuerdo con el siguiente criterio:

Se considera solo las perturbaciones definidas cuando la presión de la hora 12 Z del día n es 6 hPa mayor que la del día $n-2$

Finalmente, los índices **L** y **N** fueron correlacionados entre sí y con las series de temperaturas medias mensuales del conjunto de 39 estaciones meteorológicas de superficie localizadas en el sector centro y norte de Argentina al norte del paralelo 40°S pertenecientes a la red de observación del Servicio Meteorológico Nacional (ver Tabla 1.1).

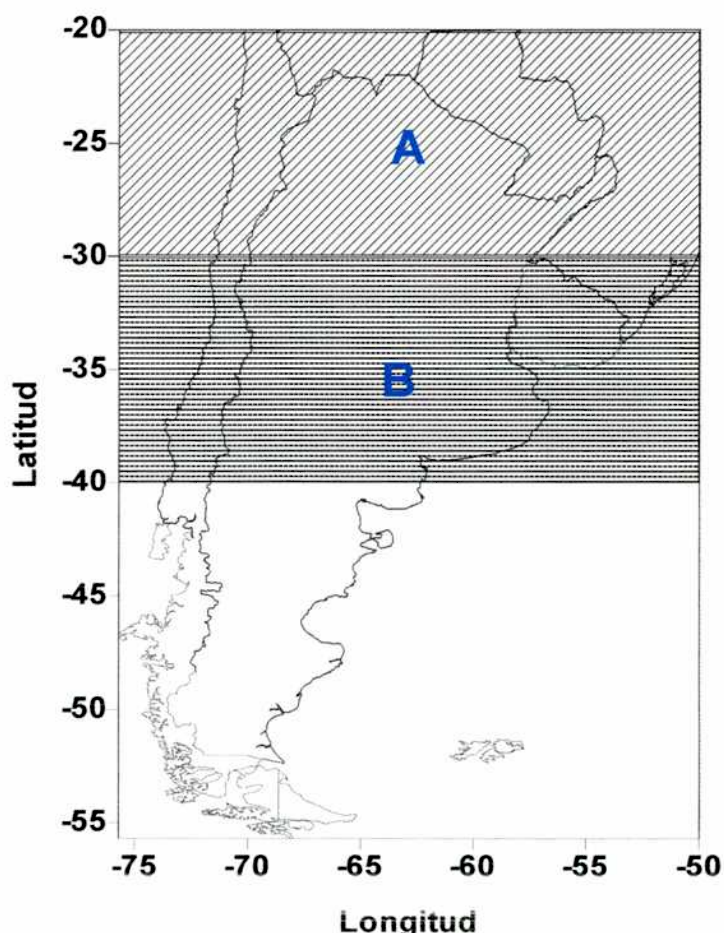


Figura 4.1. Zonas definidas para el cálculo del índice L (posición meridional del viento zonal máximo en 200 hPa)

4.3. Relación entre el índice L y la temperatura media mensual

En la Figura 4.2 se presentan los campos mensuales de correlación entre el índice L y la temperatura media mensual en Argentina subtropical. En la Figura 4.2a se encuentran los campos correspondientes a los trimestres de verano (diciembre, enero y febrero) y otoño (marzo, abril y mayo) mientras que en la Figura 4.2b se muestran los campos de invierno (junio, julio y agosto) y primavera (septiembre, octubre y noviembre). En general se

observan en todos los meses correlaciones negativas significativas, para un nivel de significancia del 95% de acuerdo con el test t de Student (las correlaciones significativas $|r| > 0.35$, se encuentran sombreadas).

Para los meses estivales la relación es débil y sólo se obtuvieron valores significativos en la parte norte de la región de estudio. Estas bajas correlaciones se deben a que gran parte de la región está caracterizada por una marcada barotropía, donde los vientos máximos superiores se encuentran desplazados hacia la Patagonia.

En el otoño, durante marzo y abril, se mantiene significativa la región norte y noreste, mientras que durante mayo se observan valores altamente significativos en toda la región alcanzándose correlaciones de -0.80 en las provincias de Chaco y Formosa. Durante los meses de invierno y primavera la correlación es mayor que la obtenida para el trimestre de verano y los primeros meses del otoño así como el área donde alcanza valores significativos. Es de destacar que las mejores relaciones se encuentran en las estaciones que se hallan en la parte nor-oriental de la región de estudio.

Estos resultados estarían indicando que, cuanto más al norte se encuentra la posición de los vientos zonales máximos en 200 hPa, menores son las temperaturas medias en la mayoría de las estaciones de la región analizadas. Aunque no se puede asegurar que este parámetro represente acabadamente la posición del jet subtropical o polar, es un parámetro climático que indicaría la latitud de la zona de mayor baroclinicidad y por lo tanto un indicador de la mayor o menor penetración de las masas de aire polar hacia el norte.

4.4. Relación entre el índice N y la temperatura media mensual

En las Figuras 4.3 a 4.5 se presentan los campos de correlación mensual entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y los índices $N_{Posadas}$, $N_{Paraná}$ y $N_{SantaRosa}$ respectivamente. Estos gráficos se encuentran ordenados de tal forma que en las Figuras 4.3a, 4.4a y 4.5a se presentan los resultados para los trimestres de verano y otoño y en las Figuras 4.3b, 4.4b y 4.5b se encuentran los campos correspondientes al invierno y la primavera.

Del estudio de la relación entre las temperaturas medias mensuales y el número de pasajes de perturbaciones en las tres estaciones se evidencia una correlación negativa entre ambas variables que es mayor en el otoño y comienzo del invierno en Posadas y Paraná y más irregular espacial y temporalmente en Santa Rosa. Las correlaciones negativas indican que la relación entre la temperatura media y el número de perturbaciones es tal que, a escala climática, un mayor pasaje de perturbaciones está

asociado a menores temperaturas. El hecho de que se encuentren mejores relaciones con el pasaje de perturbaciones en Posadas se debe a que las perturbaciones que pasan por Santa Rosa no siempre irrumpen hasta el extremo norte del territorio (es decir, Posadas) mientras que las que llegan a la ciudad de Posadas previamente han afectado a la mayor parte de la región de estudio. Otro elemento a tener en cuenta es que estadísticamente la región está dominada durante todo el año por advecciones cálidas provenientes del anticiclón del Atlántico (Doyle, 2001) las cuales son sólo interrumpidas por sistemas frontales, por lo tanto cuanto mayor sea el número de pasajes de sistemas frontales menor será la advección cálida del norte.

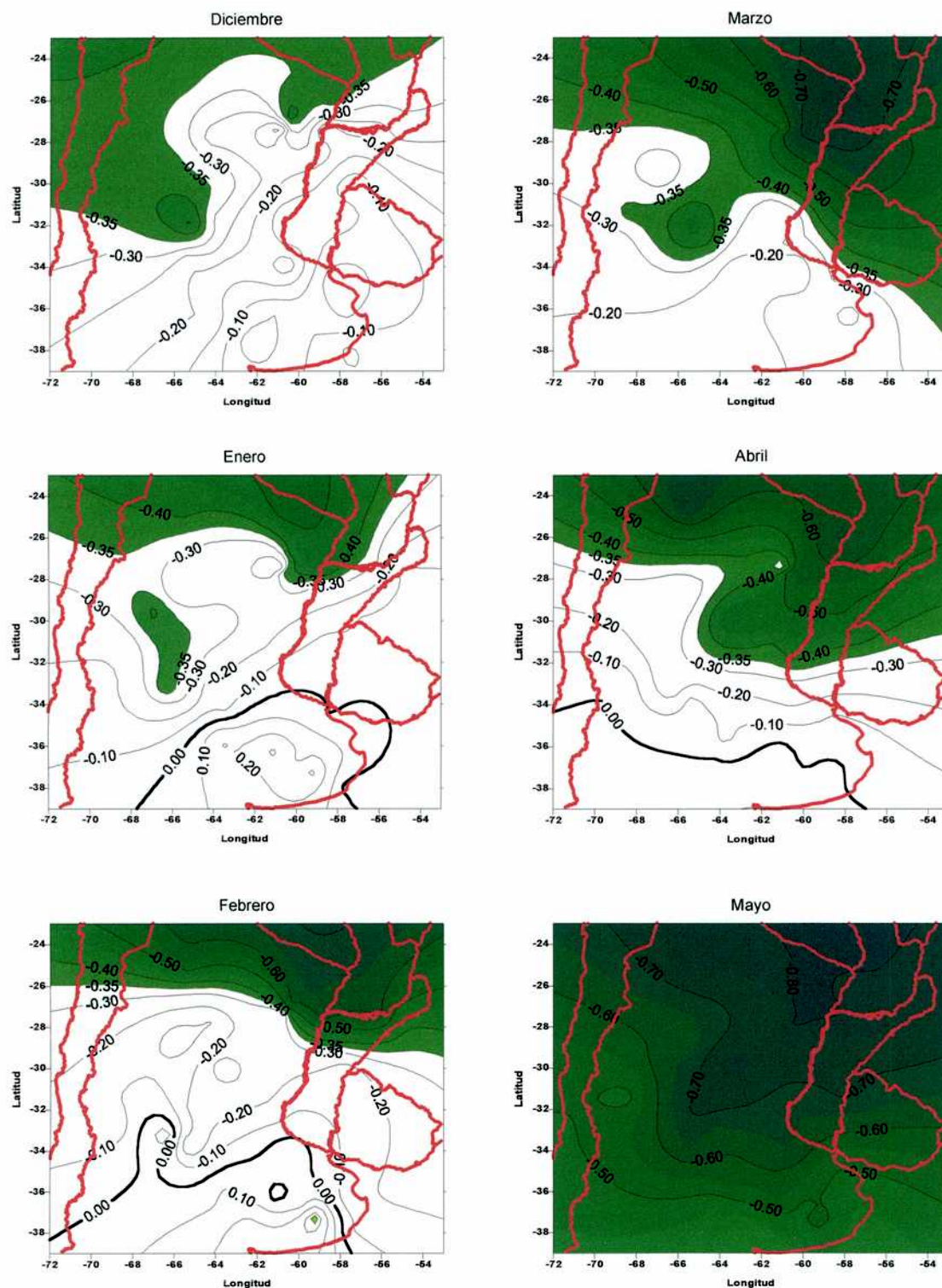


Figura 4.2a. Campo de correlación entre el índice L y la temperatura media mensual para los meses correspondientes al verano (izquierda) y al otoño (derecha).

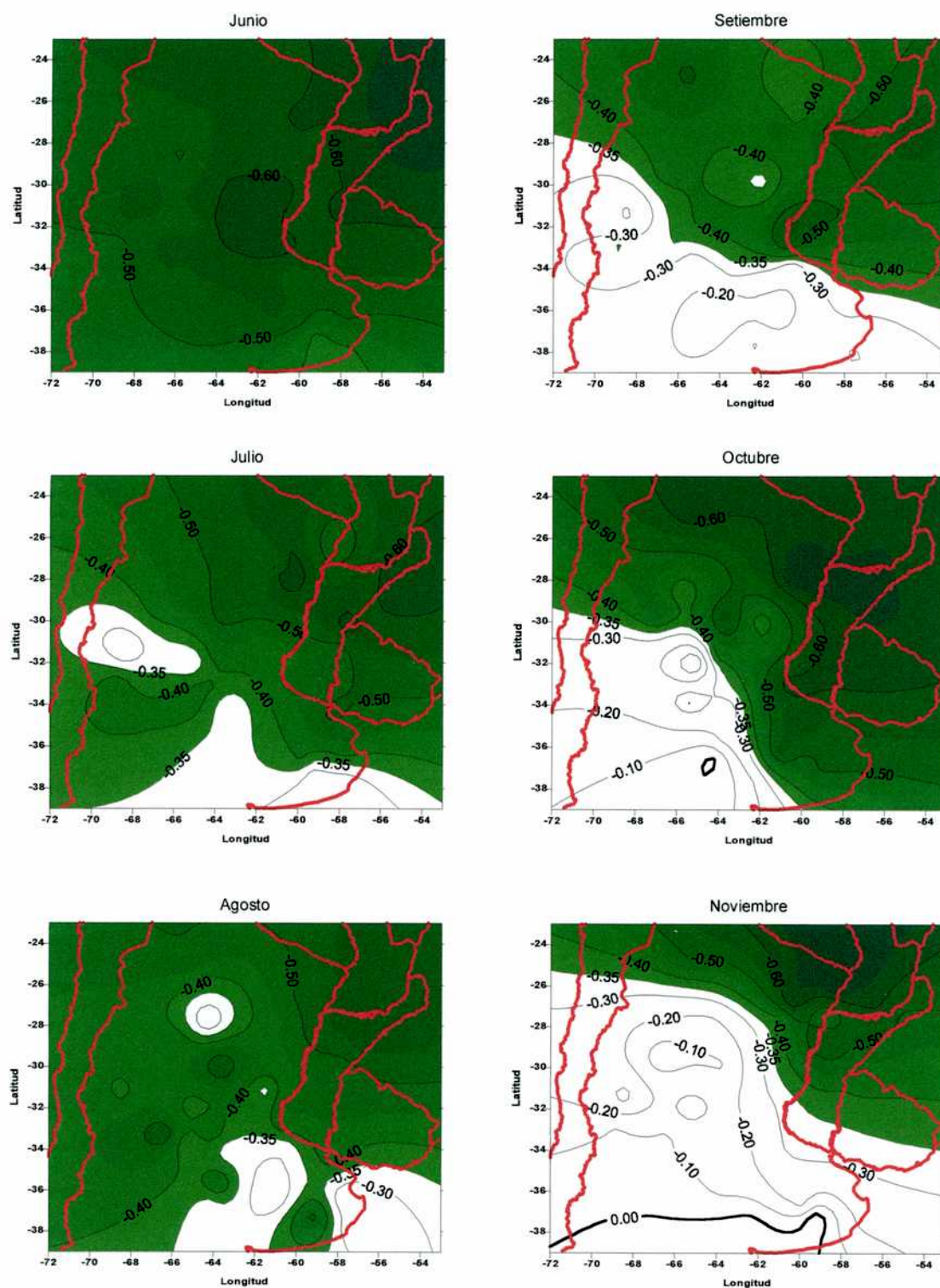


Figura 4.2b. Campo de correlación entre el índice L y la temperatura media mensual para los meses correspondientes al invierno (izquierda) y a la primavera (derecha).

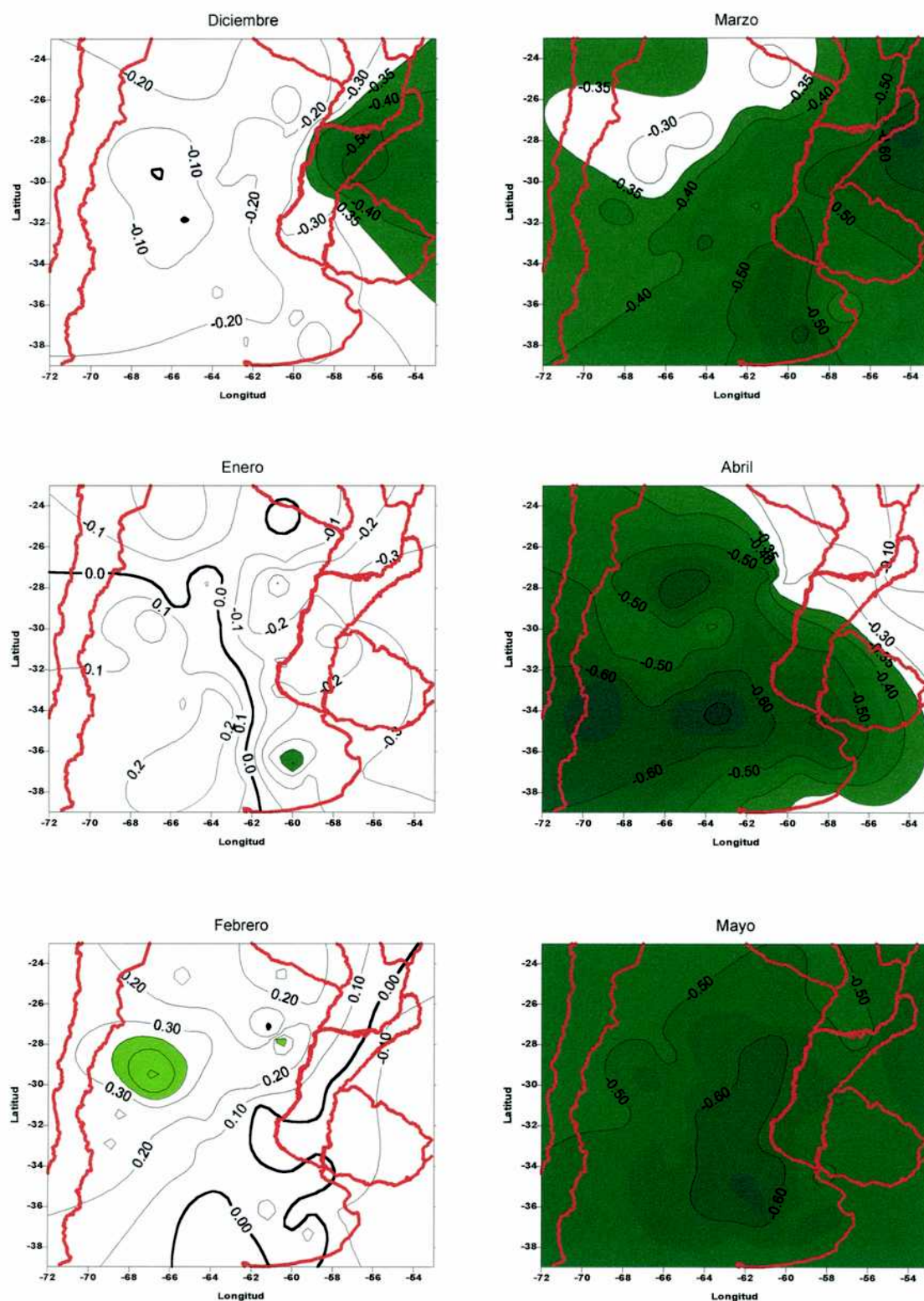


Figura 4.3a. Campo de correlación entre el índice N (Posadas) y la temperatura media mensual para los meses correspondientes al verano (izquierda) y al otoño (derecha).

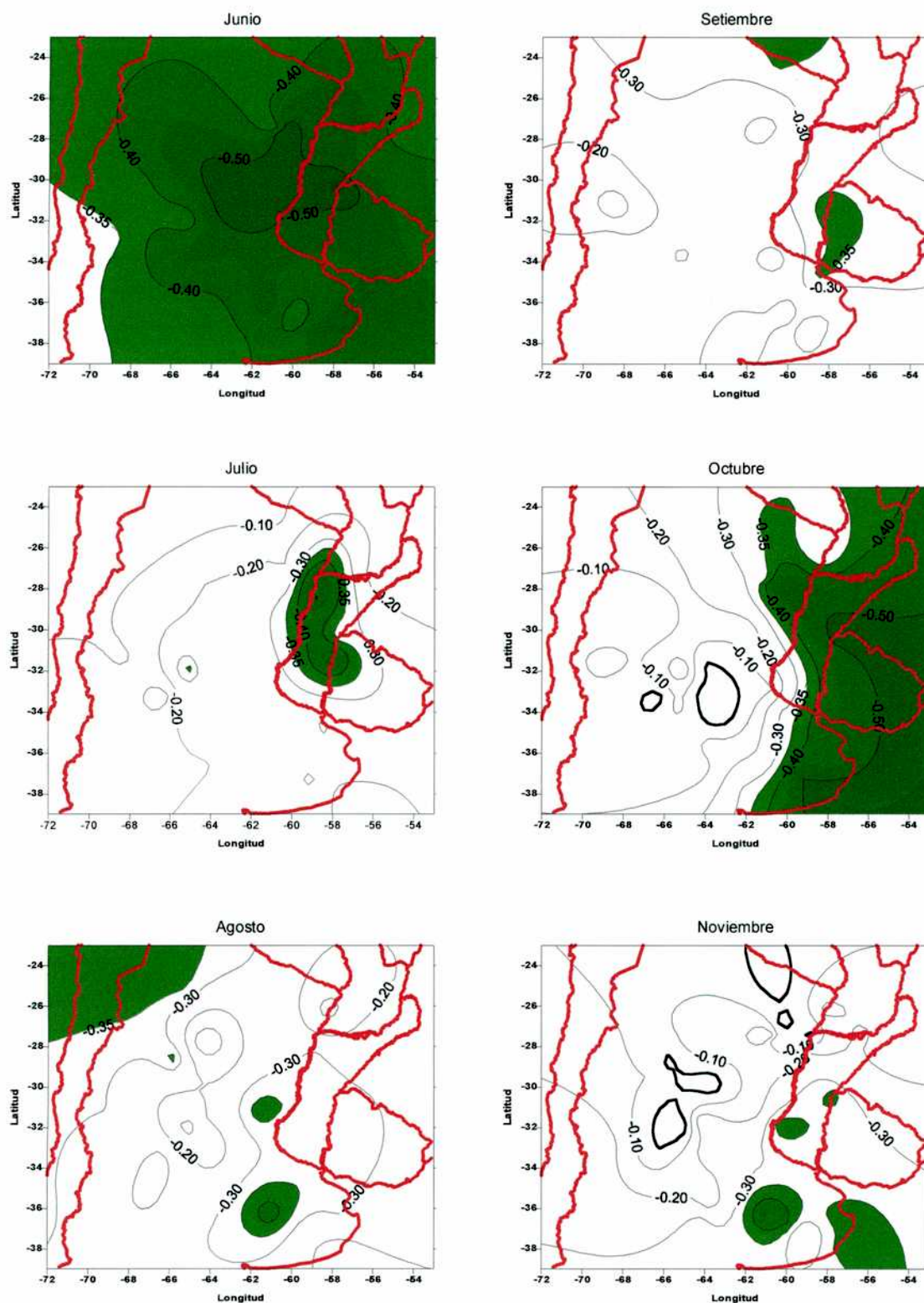


Figura 4.3b. Campo de correlación entre el índice N (Posadas) y la temperatura media mensual para los meses correspondientes al invierno (izquierda) y la primavera (derecha).

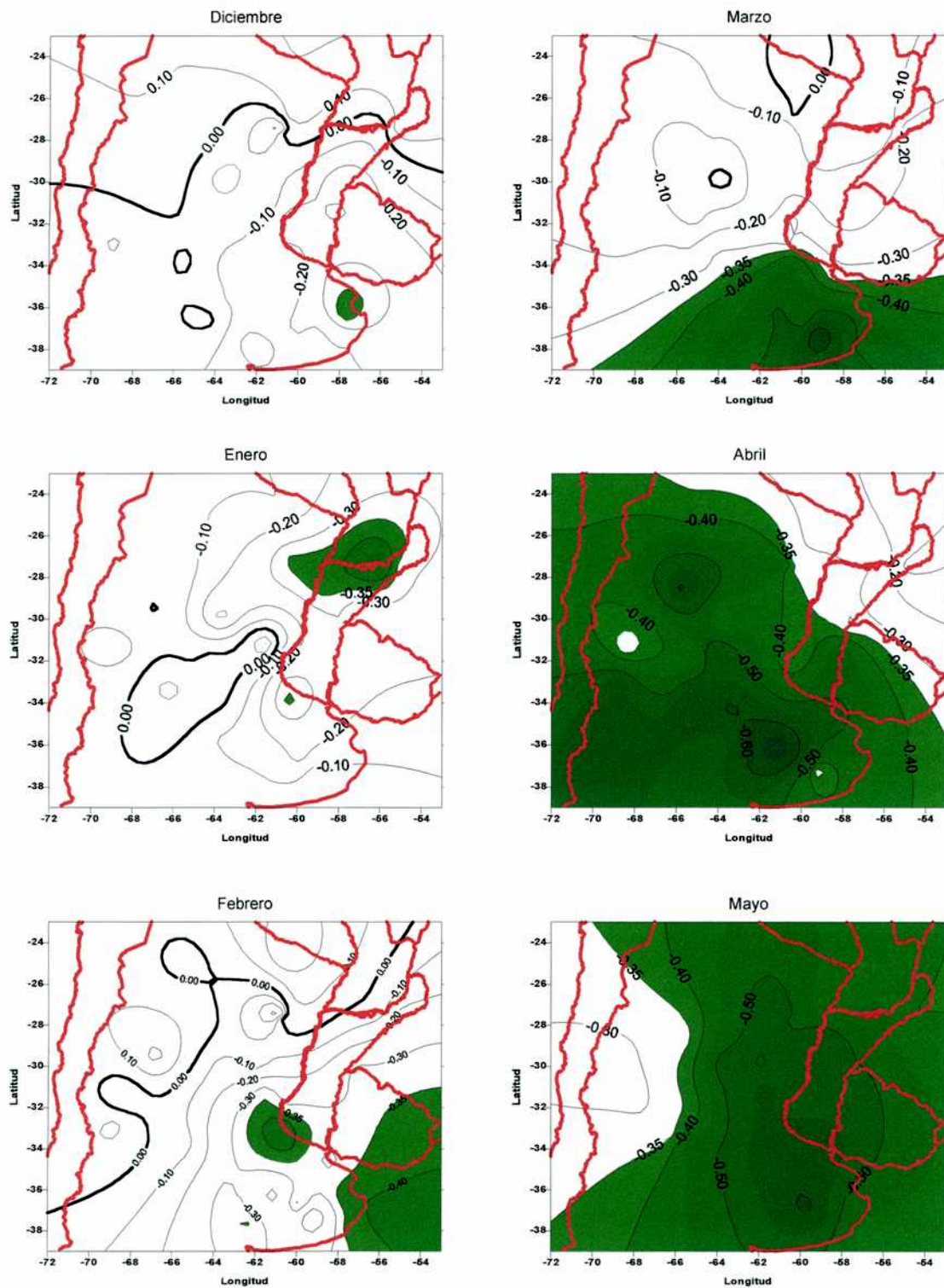


Figura 4.4a. Campo de correlación entre el índice N (Paraná) y la temperatura media mensual para los meses correspondientes al verano (izquierda) y al otoño (derecha).

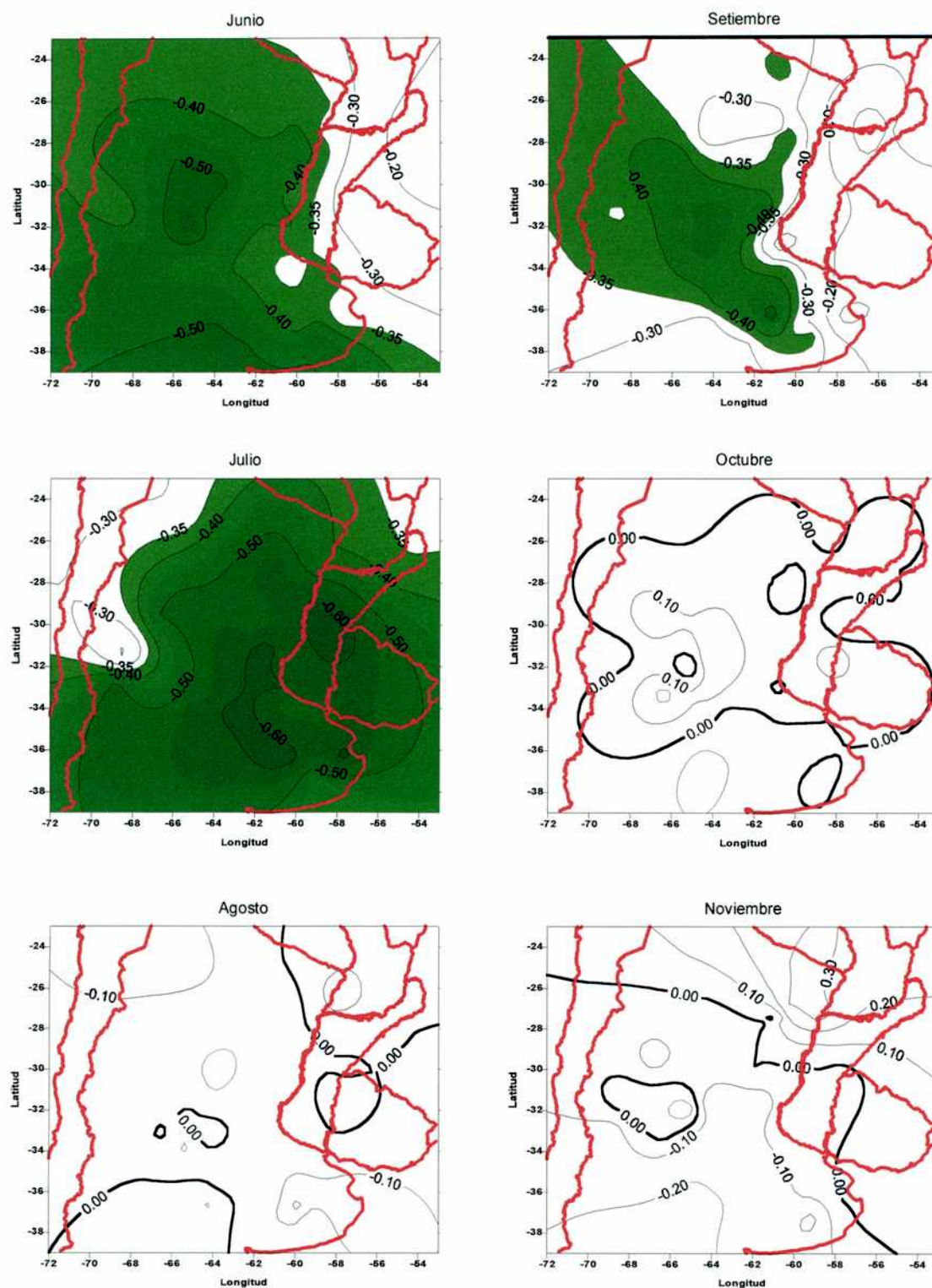


Figura 4.4b. Campo de correlación entre el índice N (Paraná) y la temperatura media mensual para los meses correspondientes al invierno (izquierda) y a la primavera (derecha).

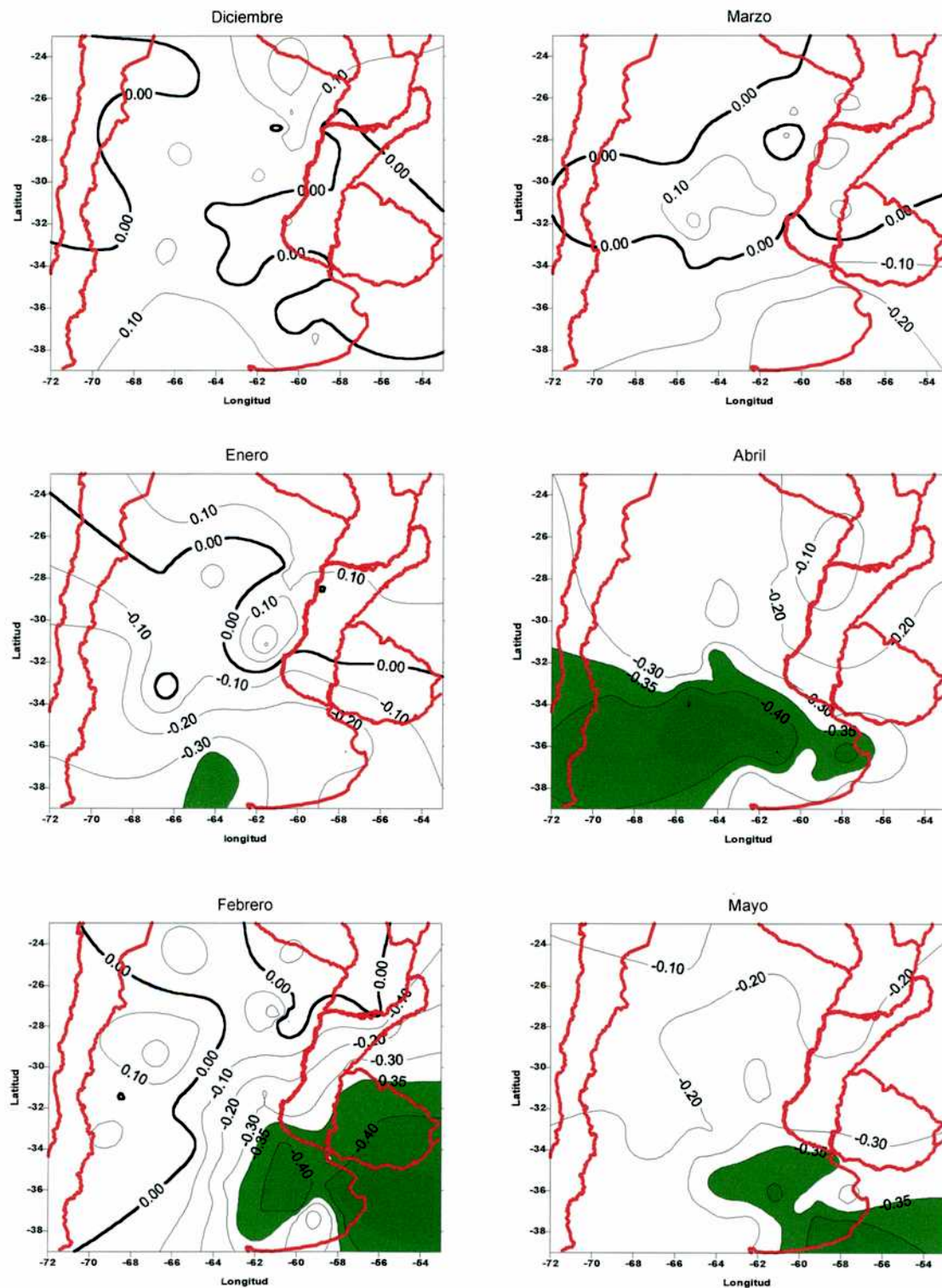


Figura 4.5a. Campo de correlación entre el índice N (Santa Rosa) y la temperatura media mensual para los meses correspondientes al verano (izquierda) y al otoño (derecha).

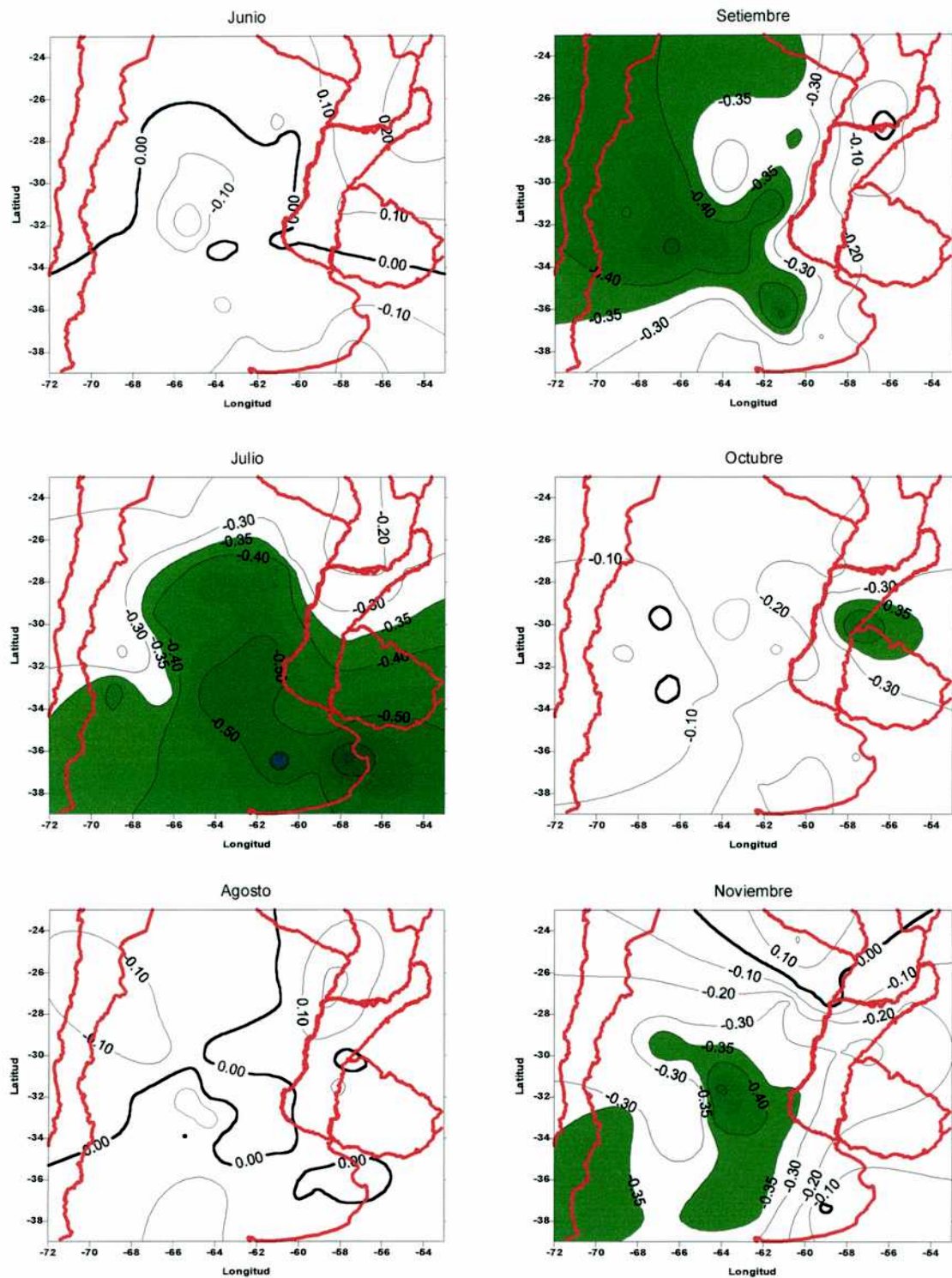


Figura 4.5b. Campo de correlación entre el índice N (Santa Rosa) y la temperatura media mensual para los meses correspondientes al invierno (izquierda) y a la primavera (derecha).

4.5. Relación entre los índices L y N

En la Figura 4.6 se presenta la evolución anual de la correlación entre el índice L y los índices N correspondientes a las estaciones Posadas, Paraná y Santa Rosa con el objeto de explorar en escala climática la relación entre la posición del viento máximo en 200 hPa y el número de pasajes de perturbaciones. Se observa que para los meses de invierno existe una relación directa significativa estadísticamente especialmente en Posadas y Paraná, sin alcanzar valores como los encontrados con la correlación de cada uno de estos índices con la temperatura. En Posadas, la correlación es positiva entre mayo y octubre, mientras que en Paraná sólo es mayor que 0 entre abril y julio. En Santa Rosa, la relación entre L y N es más fluctuante y los valores absolutos en general no tienen significancia estadística.

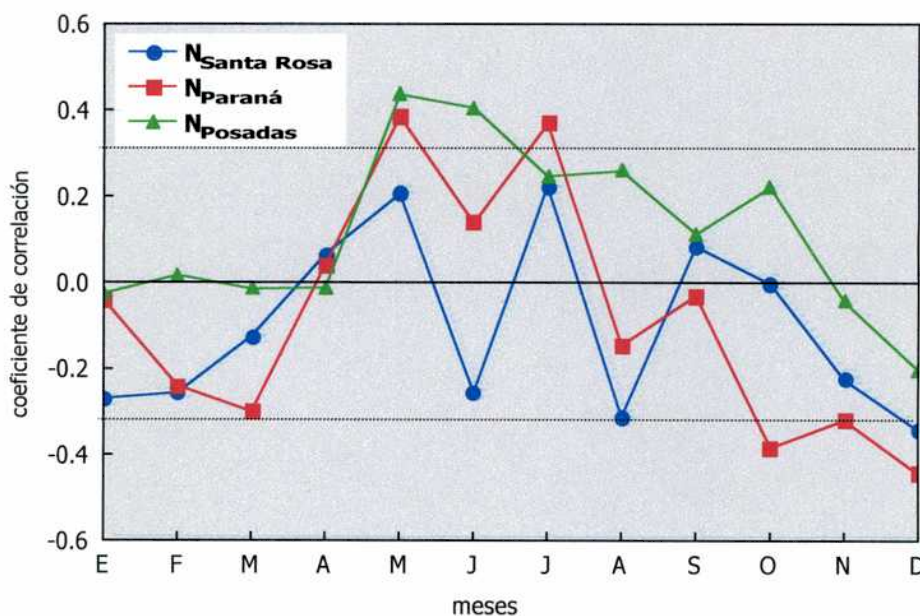


Figura 4.6. Variación anual de la correlación entre el índice L y los índices N para Santa Rosa, Paraná y Posadas.

4.6. Conclusiones

En este capítulo se analiza la relación existente, en escala climática, entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y la posición de los vientos máximos en 200 hPa y el número de pasajes de perturbaciones en un conjunto de estaciones en el centro-norte de Argentina. Los resultados obtenidos muestran que:

- *Cuanto más al norte se encuentra la posición de los vientos zonales máximos en 200 hPa, menores son las temperaturas medias en la mayoría de las estaciones de la región analizadas. Durante los meses de invierno y primavera la correlación es mayor que para el trimestre de verano y los primeros meses del otoño así como el área donde alcanza valores significativos. Las débiles correlaciones obtenidas para los meses estivales se deben a que la región está caracterizada por una marcada barotropía y los vientos máximos superiores se encuentran desplazados hacia la Patagonia.*
- *Si bien no se puede asegurar que el índice propuesto (L) represente acabadamente la posición del jet subtropical o polar, es un buen indicador de la latitud de la zona de mayor baroclinicidad y en consecuencia de la mayor o menor penetración de las masas de aire polar hacia el norte.*
- *Se encuentra una correlación negativa entre el número de pasaje de perturbaciones (N) y la temperatura media que es mayor en el otoño y comienzo del invierno en Posadas y Paraná y más irregular espacial y temporalmente en Santa Rosa. Las correlaciones negativas indican que la relación entre la temperatura media y N es tal que, a escala climática, el mayor pasaje de perturbaciones está asociado a menores temperaturas.*
- *Las mayores correlaciones halladas entre la temperatura media y $N_{Posadas}$ se debe a que las perturbaciones que pasan por Santa Rosa no siempre irrumpen hasta Posadas mientras que los que llegan a esa ciudad con seguridad previamente han afectado a la mayor parte de la región de estudio.*
- *La correlación entre el índice L y $N_{Posadas}$, $N_{Paraná}$ y $N_{Santa Rosa}$ muestra que para los meses de invierno existe una relación directa significativa estadísticamente especialmente en Posadas y Paraná. En Posadas, la correlación es positiva entre mayo y octubre, mientras que en Paraná sólo es mayor que 0 entre abril y julio. En Santa Rosa, la relación entre L y N fluctuante y los valores absolutos en general no tienen significancia estadística.*

CAPÍTULO 5

Relación entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y la temperatura de los océanos Atlántico y Pacífico

5.1. Introducción

En este capítulo se analiza la relación entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical en el área delimitada por 22.5°S a 37.5°S y 67.5°W a 57.5°W (Figura 5.1) y las temperaturas de los océanos Atlántico y Pacífico. De esta forma se busca conocer la respuesta de la temperatura sobre el continente a forzantes climáticos remotos y cercanos como la temperatura de la superficie del mar de los océanos Atlántico y Pacífico.

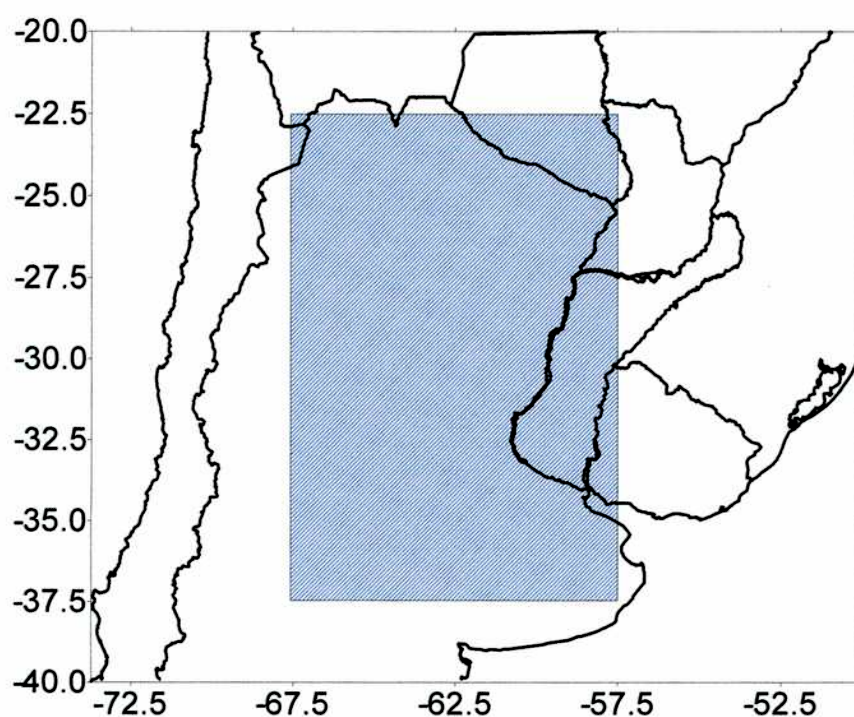


Figura 5.1. Área seleccionada para el análisis de la relación entre la temperatura media mensual y las temperaturas de los océanos Atlántico y Pacífico.

Con esta finalidad, para extraer la temperatura continental, se utilizó la base de datos global de temperatura media mensual elaborada por la Universidad de East Anglia (Reino Unido) disponible en una grilla de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ y compilada por Jones (1994) y Parker y otros (1995). La temperatura del mar analizada fue extraída de la base de datos MOHSST versión 5 (Rayner y otros, 1996) disponible en una grilla de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. El área del océano Atlántico considerada corresponde a la banda 25°N - 40°S y entre el continente sudamericano y 10°E , mientras que para el Pacífico se tomó la misma banda de latitudes entre las longitudes 180°W y 80°W . Para realizar este análisis se consideró el período 1959-90 y las anomalías fueron calculadas respecto de 1961-90.

5.2. Metodología

La relación entre los campos mensuales de anomalías de temperatura en la región de Argentina subtropical (T_{sup}) indicada en la Figura 5.1 y las anomalías de la temperatura del mar (TSM) de los océanos Atlántico y Pacífico fue estudiada por medio del método de análisis de correlación canónica (CCA). Este método es una técnica del análisis multivariado que encuentra la combinación lineal óptima entre dos conjuntos de datos y es especialmente útil cuando se trabaja con campos espaciales de diferentes variables ya que permite definir los patrones de cada variable más altamente relacionados entre sí. En los últimos años, este método ha sido muy utilizado tanto en estudios de diagnóstico como de pronóstico (por ejemplo, Barnett y Preisendorfer, 1987; Barnston y Ropelewski, 1992; Chu y He, 1994; Díaz y otros, 1998; Chu, 1998; Montecinos y otros, 2000; Barros y otros, 2000b).

En este estudio, el método de CCA fue aplicado, para cada mes, a las componentes principales (modo S) de las anomalías de T_{sup} y TSM del Atlántico y Pacífico. El número de componentes principales utilizadas de cada variable en el análisis de correlación canónica fue determinado adoptando como criterio que las componentes retenidas explicaran en conjunto un mínimo de varianza del 80%. A continuación se denominará p a la cantidad de componentes principales retenidas para T_{sup} y q_1 y q_2 al número de componentes retenidas para TSM del Atlántico y Pacífico respectivamente. En la Tabla 5.1. se indican los valores de p , q_1 y q_2 para cada mes. De la Tabla se desprende que el criterio empleado implica que, para todos los meses, p es menor que q_1 y q_2 , lo que es lógico dado que el campo de T_{sup} presenta menos grados de libertad que los de TSM del Atlántico y Pacífico.

mes	p	q ₁	q ₂
Enero	5	7	7
Febrero	4	7	8
Marzo	4	6	9
Abril	3	6	9
Mayo	2	7	8
Junio	3	7	9
Julio	2	7	9
Agosto	3	7	8
Septiembre	4	7	8
Octubre	4	7	8
Noviembre	4	7	8
Diciembre	5	6	7

Tabla 5.1. Cantidad de componentes principales retenidas para el análisis de correlación canónica para cada mes y variable (p corresponde a T_{sup} y q_1 y q_2 a TSM del Atlántico y Pacífico, respectivamente)

El método de correlación canónica produce para cada mes un número r de combinaciones lineales de las series temporales (factor scores) de las componentes principales de las anomalías de T_{sup} y TSM igual al mínimo de componentes principales retenidas entre ambas variables. Estas combinaciones lineales, dependientes del tiempo, generalmente se las denomina vectores canónicos y sus correlaciones (μ_i , $i=1,r$) son los coeficientes de correlación canónica. Cuando el método de correlación canónica se aplica a campos espaciales, como en este caso, es posible graficar mapas de los vectores canónicos, denominados patrones canónicos, a través de la asociación entre su magnitud y la ubicación geográfica. Estos mapas muestran la correlación entre los vectores canónicos y las series temporales de anomalías de T_{sup} y TSM del Atlántico y Pacífico reconstruidas a partir de las primeras p , q_1 y q_2 componentes principales. La significancia de los valores representados en los mapas o patrones canónicos es estimada a través del test t de Student de forma que son significativos para un nivel del 95% cuando son mayores, en valor absoluto, que 0.31 (Brooks y Carruthers, 1953).

5.3. Relación entre las anomalías de la temperatura de superficie y del océano Atlántico

En las Figuras 5.2 a 5.7 y 5.9 a 5.13 se representan los patrones y vectores canónicos mensuales resultantes de la aplicación del método de CCA entre T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ correspondientes a la primer y segunda componentes canónicas donde se sombrearon las áreas con correlaciones significativas ($|r| \geq 0.31$). Los gráficos se encuentran ordenados de forma que en las Figuras 5.2 a 5.4 se presentan los meses correspondientes al trimestre de verano (diciembre, enero y febrero) y así siguiendo con los meses subsiguientes. Asimismo, en la Tabla 5.2 se presentan los coeficientes de correlación canónica (μ_{Ai}) asociados a las mismas componentes. De la Tabla se desprende que en todos los meses y para las dos componentes analizadas los coeficientes de correlación canónica son positivos ($\mu_{Ai} > 0$). Esto significa que los patrones de T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ asociados con la 1º y 2º componentes canónicas tienen la misma correspondencia en signo que sus correspondientes vectores canónicos. Los coeficientes de correlación canónica son significativos para un nivel del 95% en todos los casos, excepto para el mes de mayo (2º componente) y julio (2º componente).

mes	μ_{A1}	μ_{A2}
Diciembre	0.77	0.59
Enero	0.78	0.61
Febrero	0.63	0.54
Marzo	0.75	0.49
Abril	0.63	0.55
Mayo	0.52	0.19
Junio	0.61	0.31
Julio	0.31	0.18
Agosto	0.49	0.31
Septiembre	0.60	0.41
Octubre	0.82	0.60
Noviembre	0.78	0.61

Tabla 5.2. Coeficientes de correlación canónica correspondientes a la 1º (μ_{A1}) y 2º (μ_{A2}) componentes del análisis entre T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ (en rojo se indican los coeficientes significativos para un nivel del 95%).

Los patrones canónicos correspondientes a las componentes de los meses de verano (Figuras 5.2 a 5.4) muestran, a grandes rasgos, una relación inversa entre T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ de la banda entre 20°S y 30°S. Para comprender este resultado se realizará una breve discusión acerca de la Zona de Convergencia de Atlántico Sur (ZCAS), una de las características climáticas más importantes observadas durante los meses de verano en el sur de Sudamérica. La ZCAS es una zona de intensa convección que puede localizarse a través de los mapas medios mensuales de radiación saliente de onda larga como una banda de energía mínima conectada a una región de intensa convección sobre la selva amazónica y que también se proyecta sobre el océano Atlántico sur teniendo su intersección con la costa sudamericana en aproximadamente 20°S (Satyamurty y Rao, 1988; Figueroa y otros, 1995; Nogués-Paegle y Mo, 1997).

Barros y otros (2000b) encontraron que, durante los meses de verano y particularmente durante enero, la precipitación en el sudeste de Sudamérica está relacionada con la posición e intensidad de la ZCAS así como con la temperatura del océano Atlántico próximo. Sus resultados muestran que anomalías cálidas de la temperatura del mar hacia el sur de la ZCAS tienden a estar acompañadas por un desplazamiento de ésta hacia el sur junto con un debilitamiento de su intensidad y un aumento de la precipitación en el noreste de Argentina. La disminución de la actividad convectiva que se produce en la región de la ZCAS bajo esta situación se encuentra acompañada por un debilitamiento de los movimientos de subsidencia compensatorios hacia el sur de la ZCAS y en consecuencia la ocurrencia de precipitación en el noreste de Argentina no estaría inhibida (Paegle y Mo, 1997). Por lo tanto, el patrón determinado por las componentes canónicas de los meses de verano, sugeriría que las anomalías negativas de T_{sup} podrían ser resultado del aumento de la precipitación y por ende de la nubosidad asociadas a un desplazamiento hacia el sur de la ZCAS como resultado de un calentamiento en el Atlántico hacia el sur de esta región de convergencia.

Por otra parte, los resultados obtenidos recientemente por Doyle (2001) son consistentes con los hallados por Barros y otros (2000b). Doyle (2001) analiza la relación entre la temperatura del Atlántico y la precipitación en el sudeste de Sudamérica durante el verano encontrando que anomalías positivas en el Atlántico, en el área 20°S-30°S y 30°W-50°W, están asociadas a precipitaciones por encima de lo normal en la región que incluye el norte y centro-este de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Esta relación se debe a que el flujo, bajo condiciones de anomalías de temperatura del mar positivas en la región mencionada, tiene una dirección predominantemente norte-sur causando advecciones de calor y humedad hacia mayores latitudes. Bajo condiciones opuestas en la

temperatura del Atlántico, sus resultados muestran que anomalías de precipitación negativas en el noreste de Argentina se deberían a que el transporte de humedad no penetraría hacia esas latitudes del continente sudamericano sino que se desviaría hacia la ZCAS debido a la intensificación de la componente monzónica a causa del máximo contraste térmico entre el mar y el continente. Por lo tanto, de acuerdo con los resultados de Doyle (2001) se espera que cuando las anomalías de la temperatura del mar del Atlántico en el área (20°S - 30°S , 30°W - 50°W) son cálidas haya también advección cálida desde el norte.

De la discusión precedente se desprende que para la determinación de la temperatura media estival en Argentina subtropical son importantes las anomalías de la temperatura del océano Atlántico cercano y que actuarían dos procesos con efectos opuestos cuando estas anomalías son cálidas. Por un lado, se esperan menores temperaturas en Argentina subtropical debido a un aumento de la precipitación y en consecuencia de la nubosidad de acuerdo con los resultados de Barros y otros (2000b) y Doyle (2001). Contrariamente, debido a la advección de calor desde el norte mostrada por Doyle (2001), deberían registrarse mayores temperaturas medias en el continente. Estos efectos opuestos no tienen la misma importancia, tal como se desprende de las relaciones inversas obtenidas entre T_{sup} y $\text{TSM}_{\text{Atlántico}}$ que indican que la asociación inversa entre la temperatura media en Argentina subtropical y la nubosidad durante los meses estivales obtenida en el Capítulo 2 es predominante.

Los resultados para el análisis de CCA correspondiente a los meses de otoño (marzo, abril y mayo) se presentan en las Figuras 5.5 a 5.7. Para cada mes de este trimestre se observa en general una correspondencia directa entre las temperaturas del aire en la región continental y la temperatura del Atlántico de modo que anomalías frías (cálidas) de T_{sup} están asociadas a anomalías del mismo signo en $\text{TSM}_{\text{Atlántico}}$. Durante los tres meses se mantiene como significativa la región del Atlántico próxima a la costa sudamericana al sur de 25°S . Esta relación directa entre T_{sup} y $\text{TSM}_{\text{Atlántico}}$ durante el otoño estaría asociada a que el flujo en superficie en Argentina subtropical es durante esos meses predominantemente del este (ver Figura 5.8) de forma que en escala mensual el signo de las anomalías de T_{sup} estaría asociado al signo de las anomalías de $\text{TSM}_{\text{Atlántico}}$. En contraste con lo que ocurre durante el verano, el proceso dominante parecería ser el de advección desde el mar.

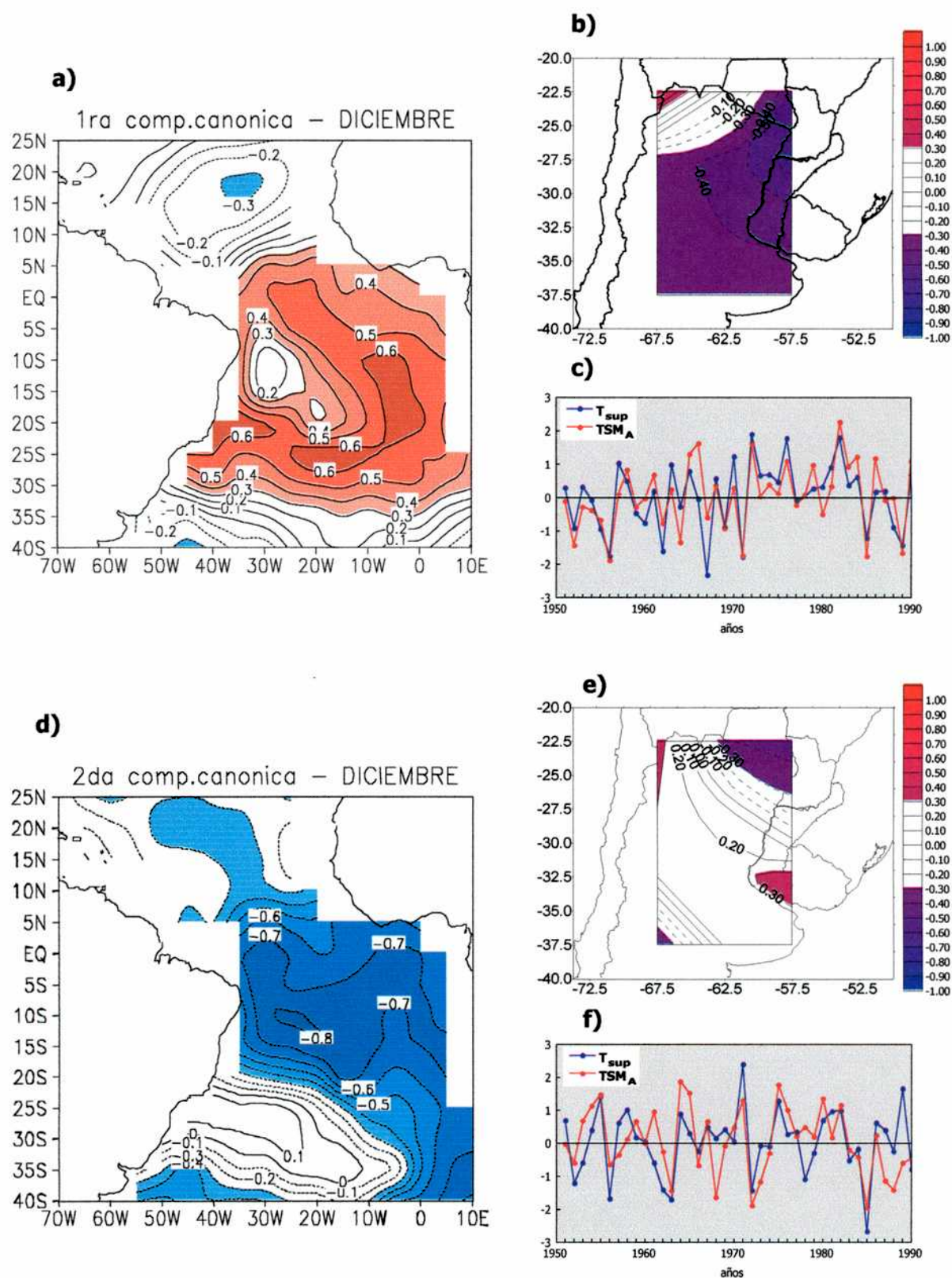


Figura 5.2. Primera y segunda componentes canónicas correspondientes a las anomalías de la temperatura media mensual (T_{sup}) y del océano Atlántico (TSM_A) para **diciembre**: a) 1º patrón canónico de TSM_A , b) 1º patrón canónico de T_{sup} , c) 1º vectores canónicos, d) 2º patrón canónico de TSM_A , e) 2º patrón canónico de T_{sup} y f) 2º vectores canónicos.

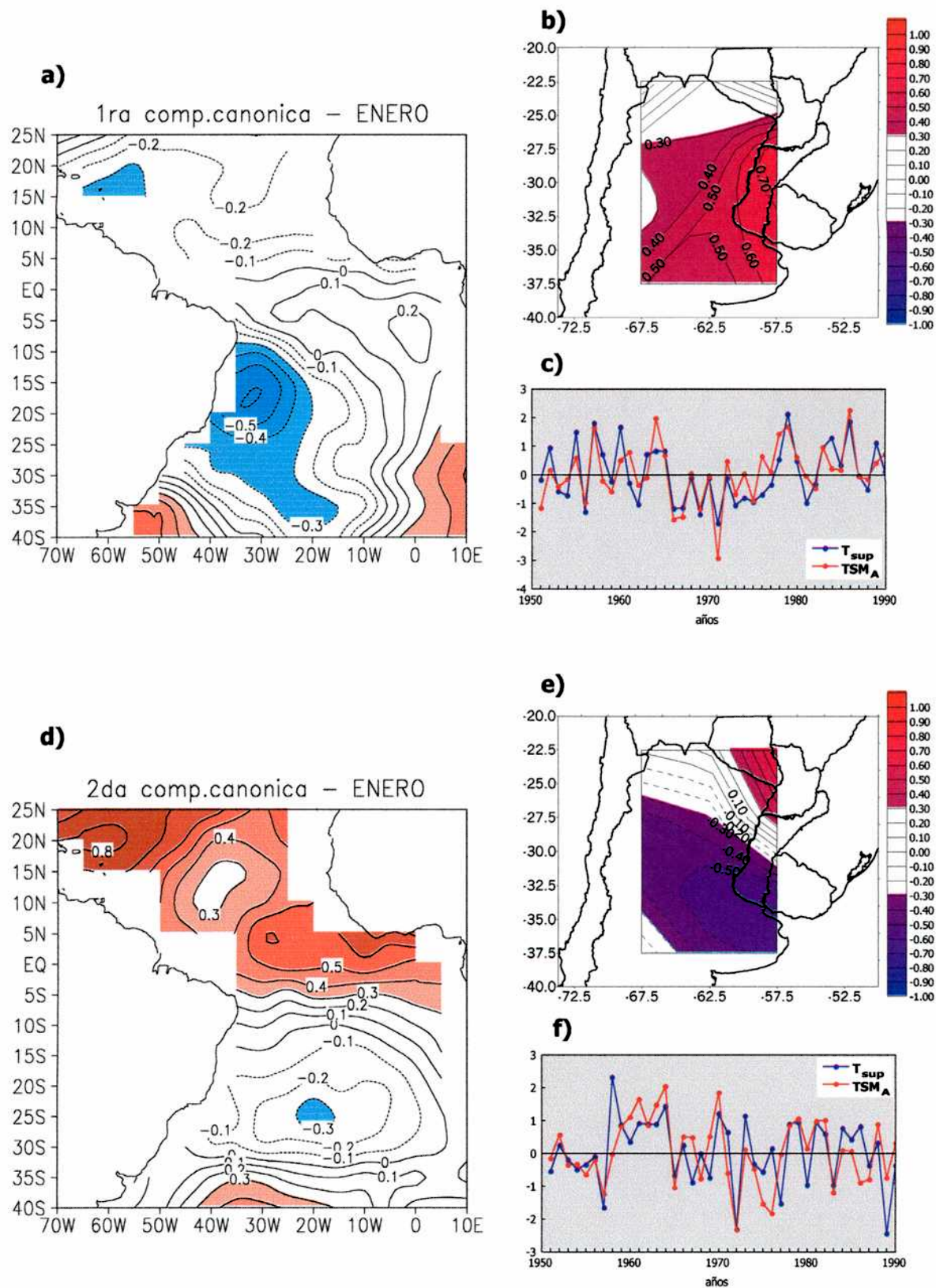


Figura 5.3. Idem Figura 5.2, para enero.

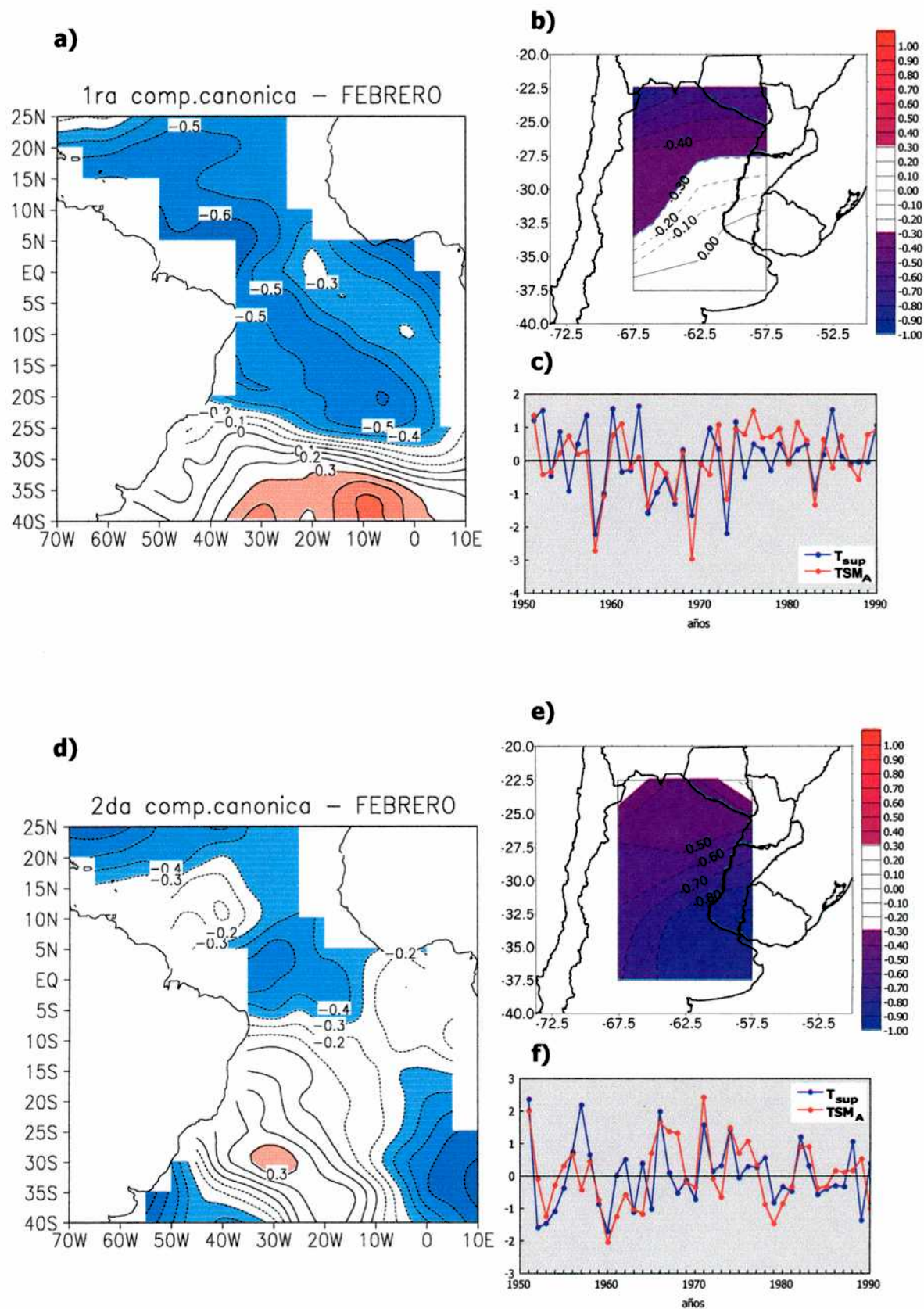


Figura 5.4. Idem Figura 5.2, para febrero.

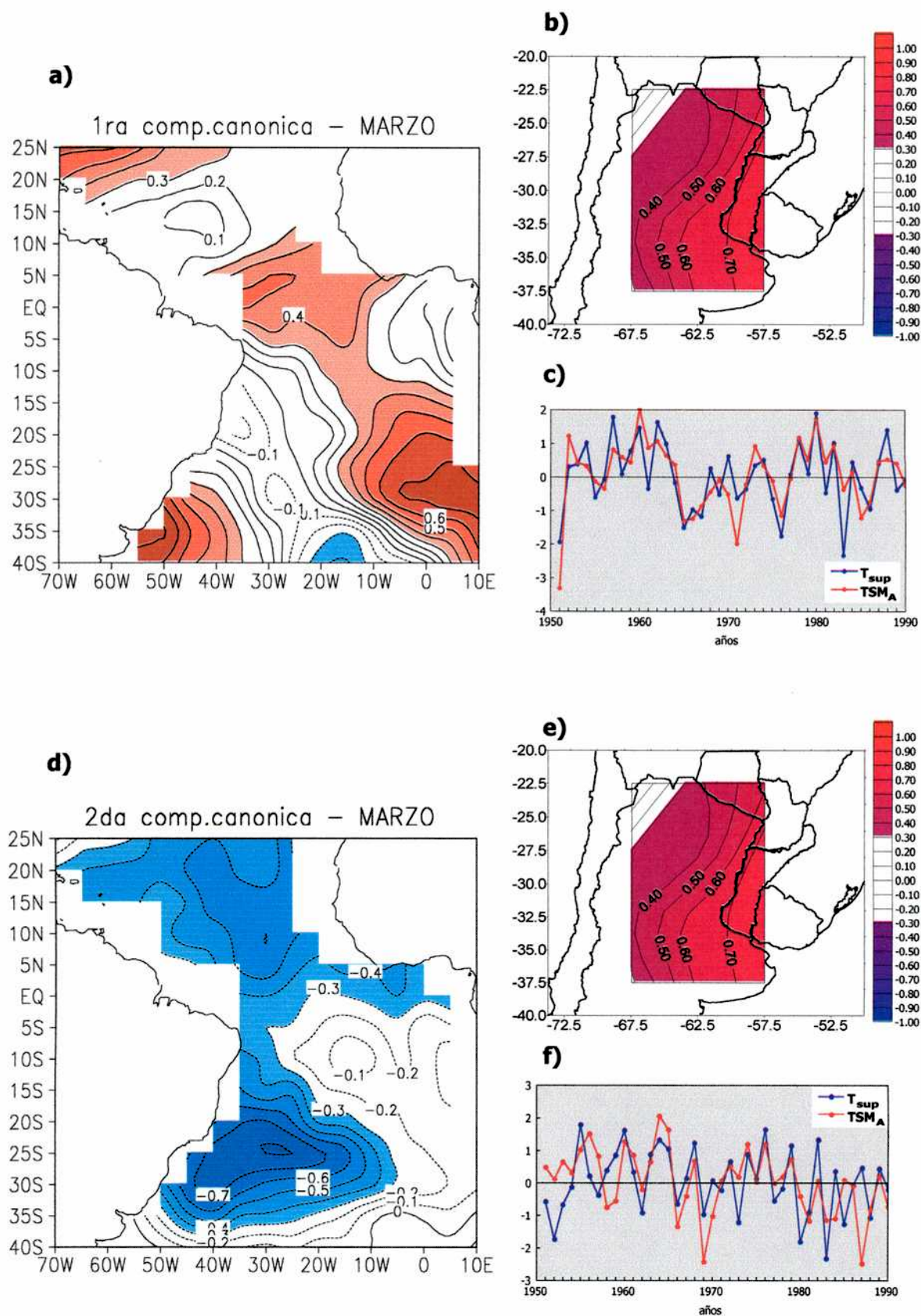


Figura 5.5. Idem Figura 5.2, para marzo.

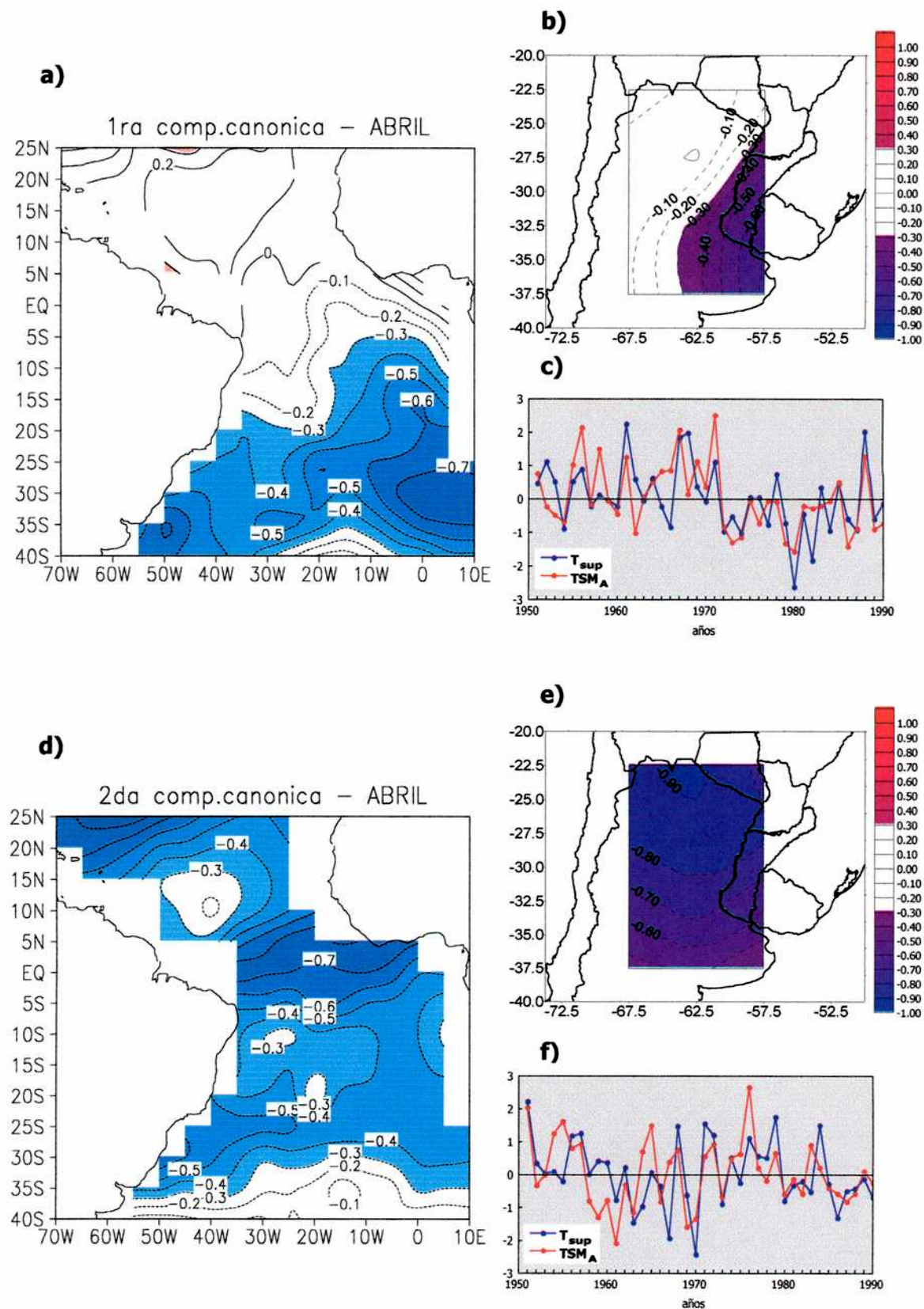


Figura 5.6. Idem Figura 5.2, para abril.

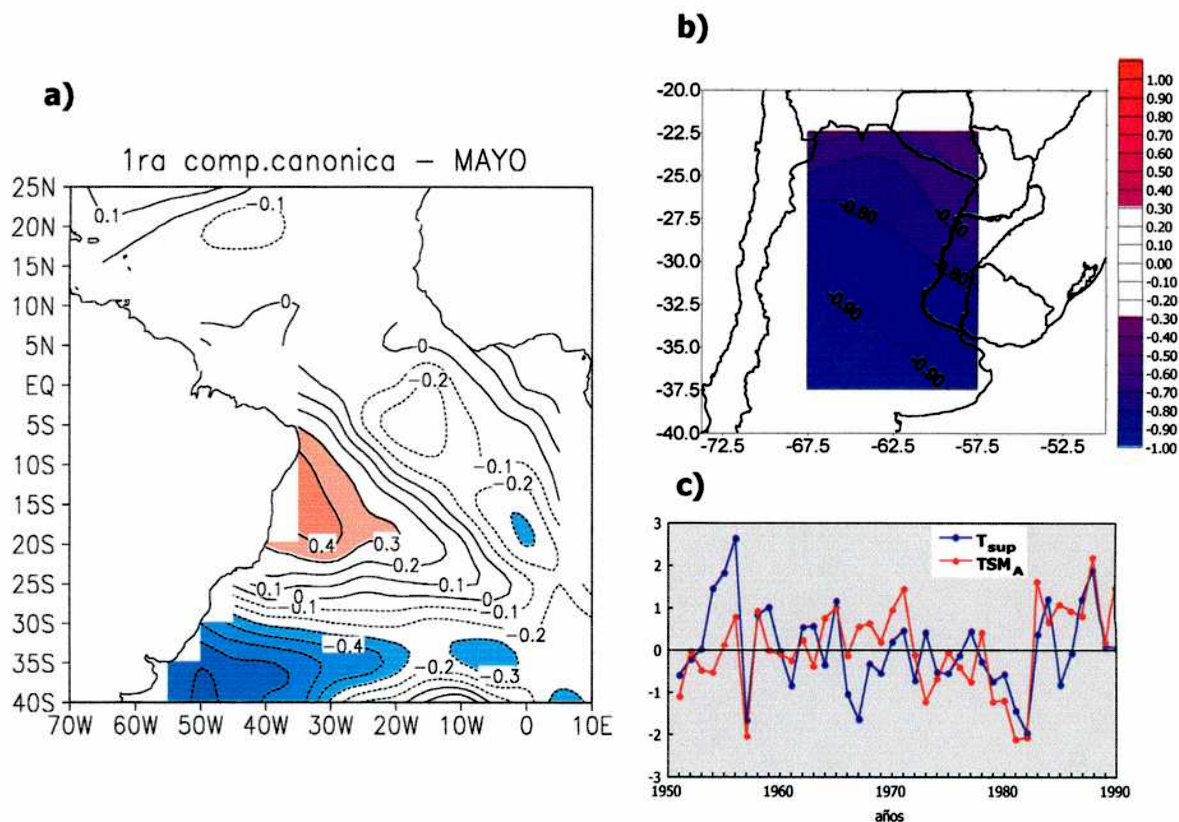


Figura 5.7. Idem Figura 5.2, para mayo.

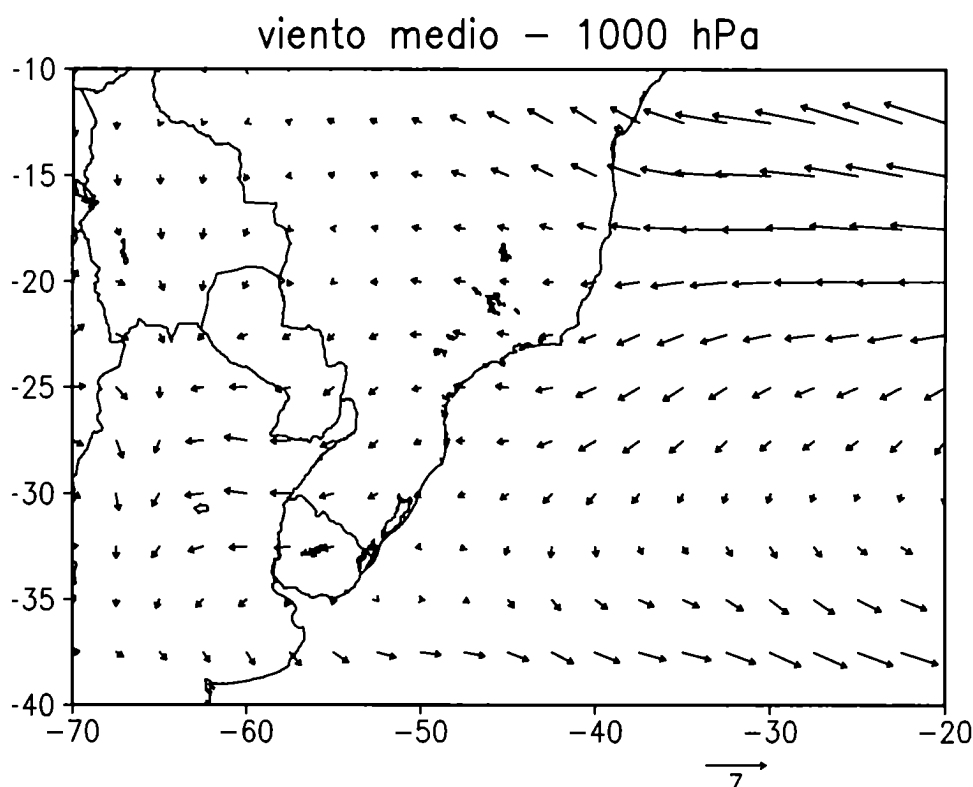


Figura 5.8. Viento medio (m/s) en 1000 hPa para el período marzo-mayo (1961-90). Los datos utilizados corresponden a reanálisis de NCEP.

En las Figuras 5.9 a 5.11 se presentan las componentes canónicas de los meses de invierno: junio, julio y agosto. Los patrones canónicos de invierno no muestran señales claras: la región del Atlántico más relevante en esta época del año es la ecuatorial que muestra una relación inversa con la temperatura en la región noreste de Argentina subtropical.

Las componentes canónicas correspondientes a septiembre, octubre y noviembre se presentan en las Figuras 5.12 a 5.14 respectivamente. Durante septiembre y octubre se observa, en general, una relación directa entre las anomalías de T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ para la región del Atlántico comprendida especialmente entre 20°S y 40°S que indica, al igual que lo que ocurre durante el otoño, el predominio de los efectos advectivos desde el mar. Las componentes de noviembre son sustancialmente diferentes a las de septiembre y octubre, presentando pequeñas zonas significativas de T_{sup} .

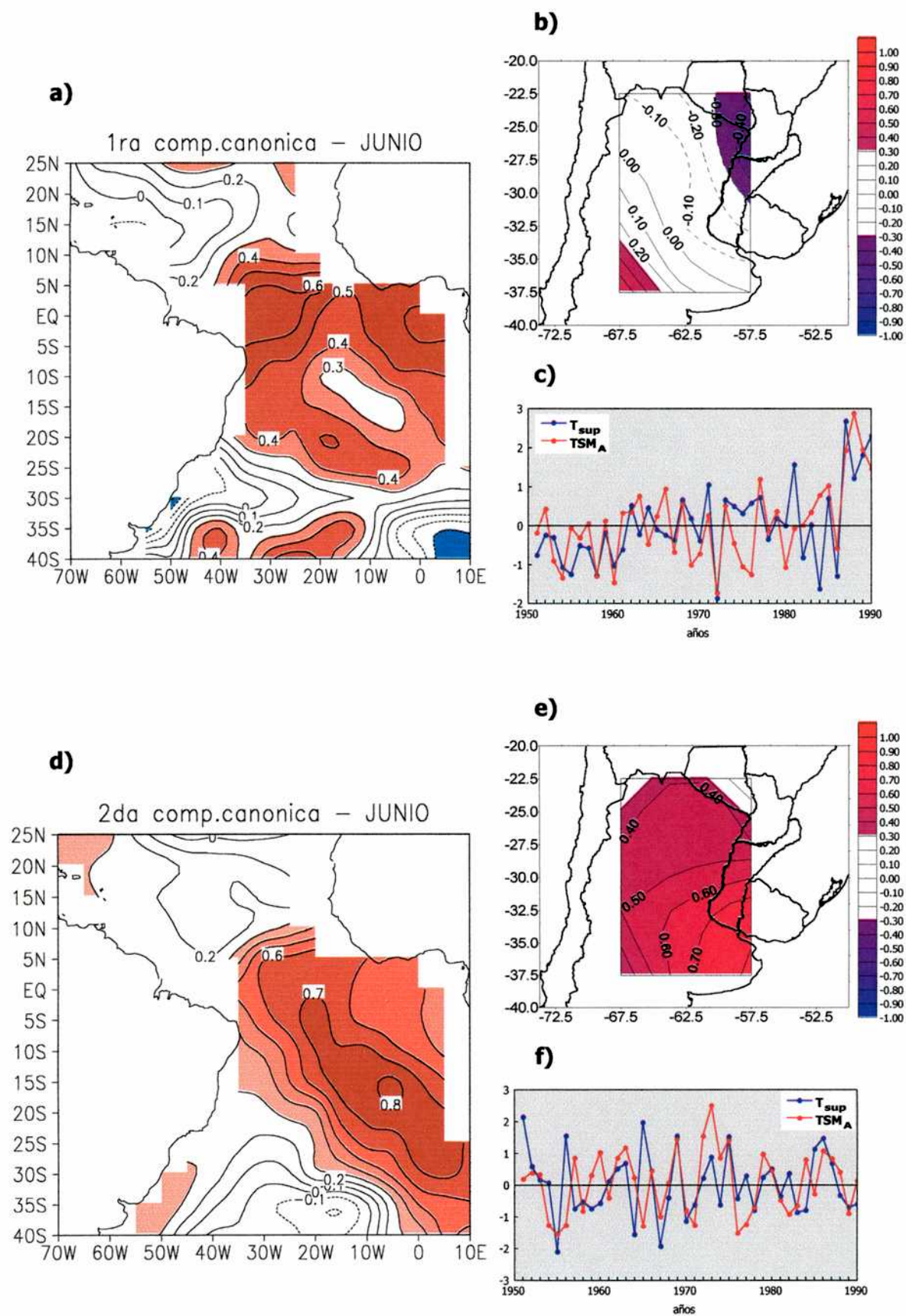


Figura 5.9. Idem Figura 5.2, para junio.

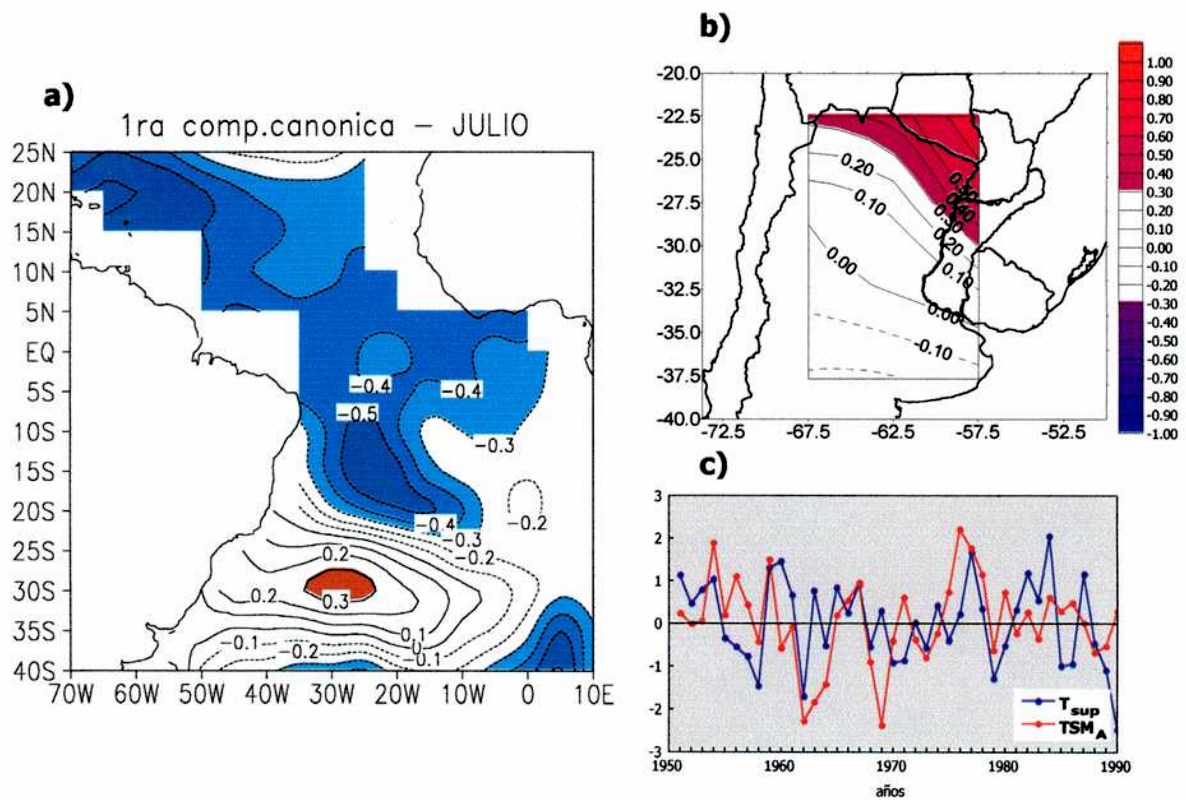


Figura 5.10. Idem Figura 5.2, para julio.

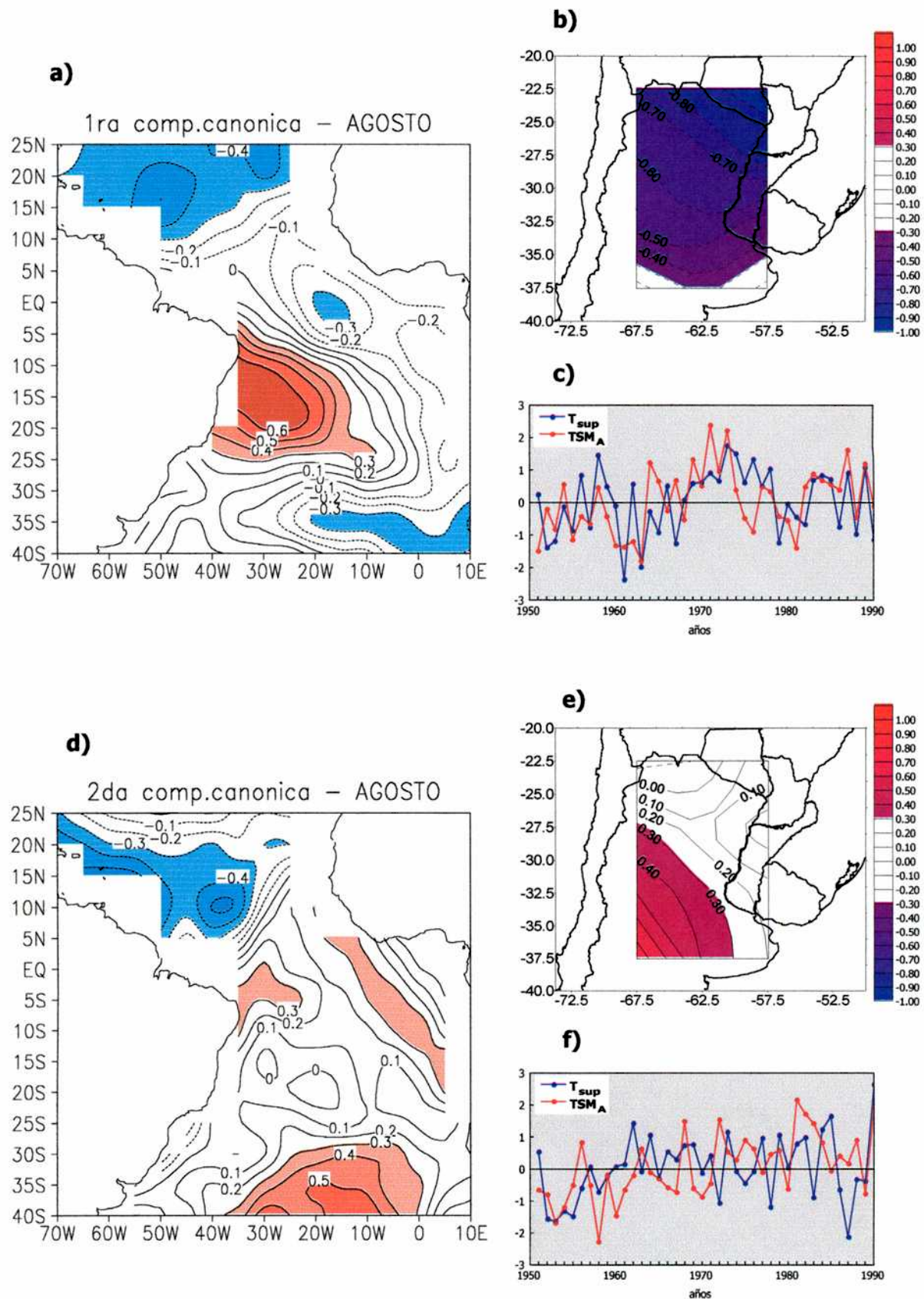


Figura 5.11. Idem Figura 5.2, para agosto.

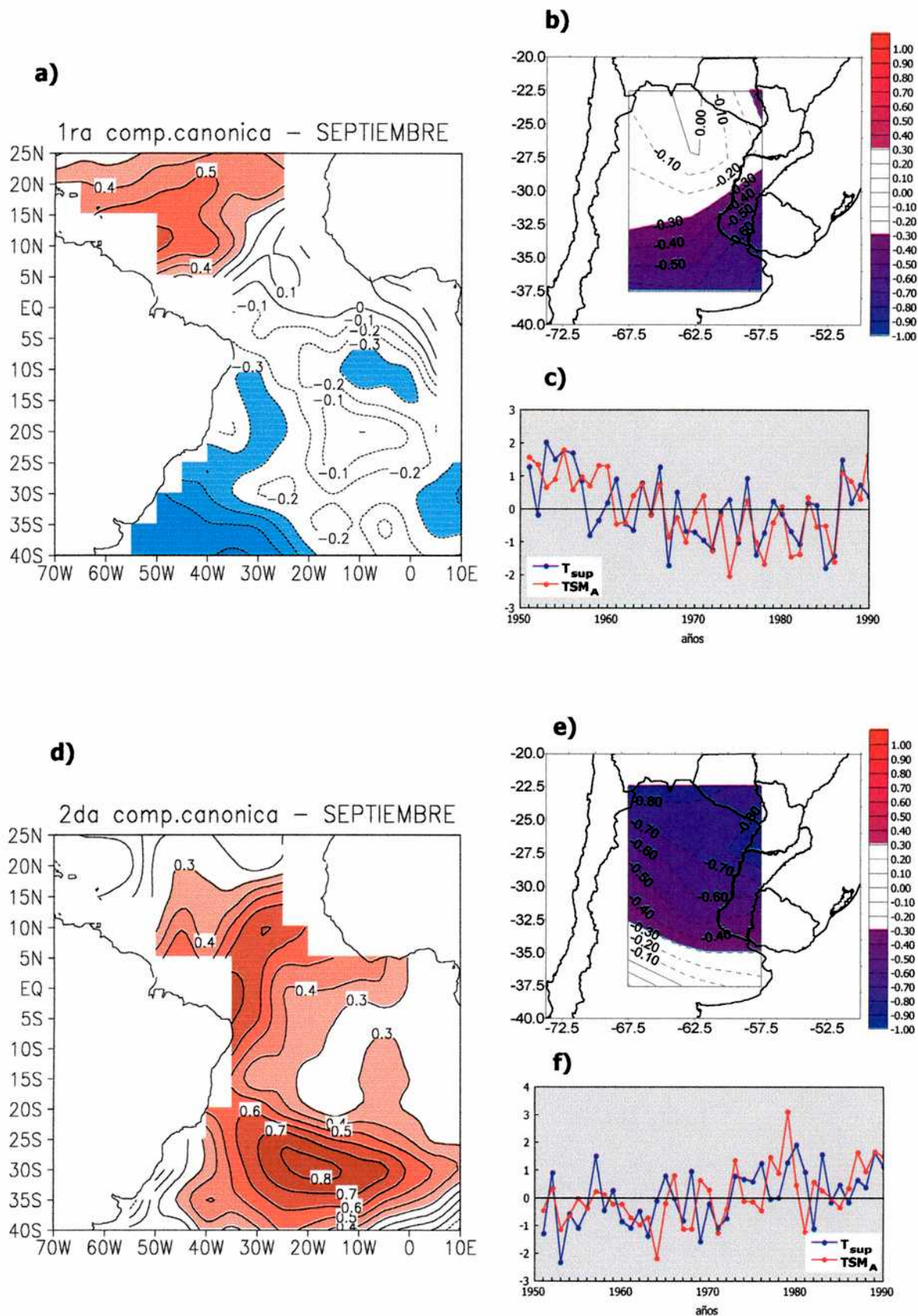


Figura 5.12. Idem Figura 5.2, para **septiembre**.

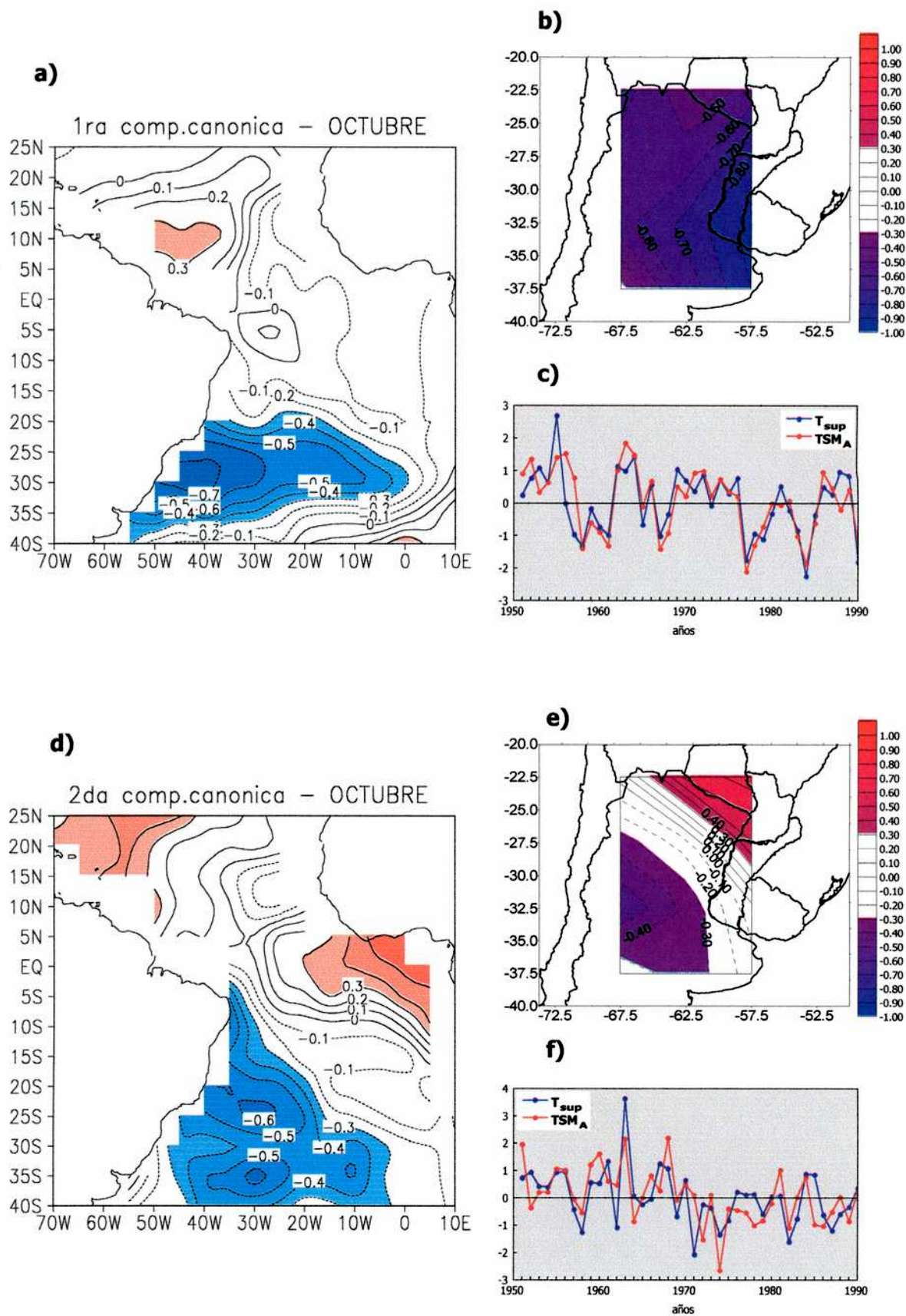


Figura 5.13. Idem Figura 5.2, para octubre.

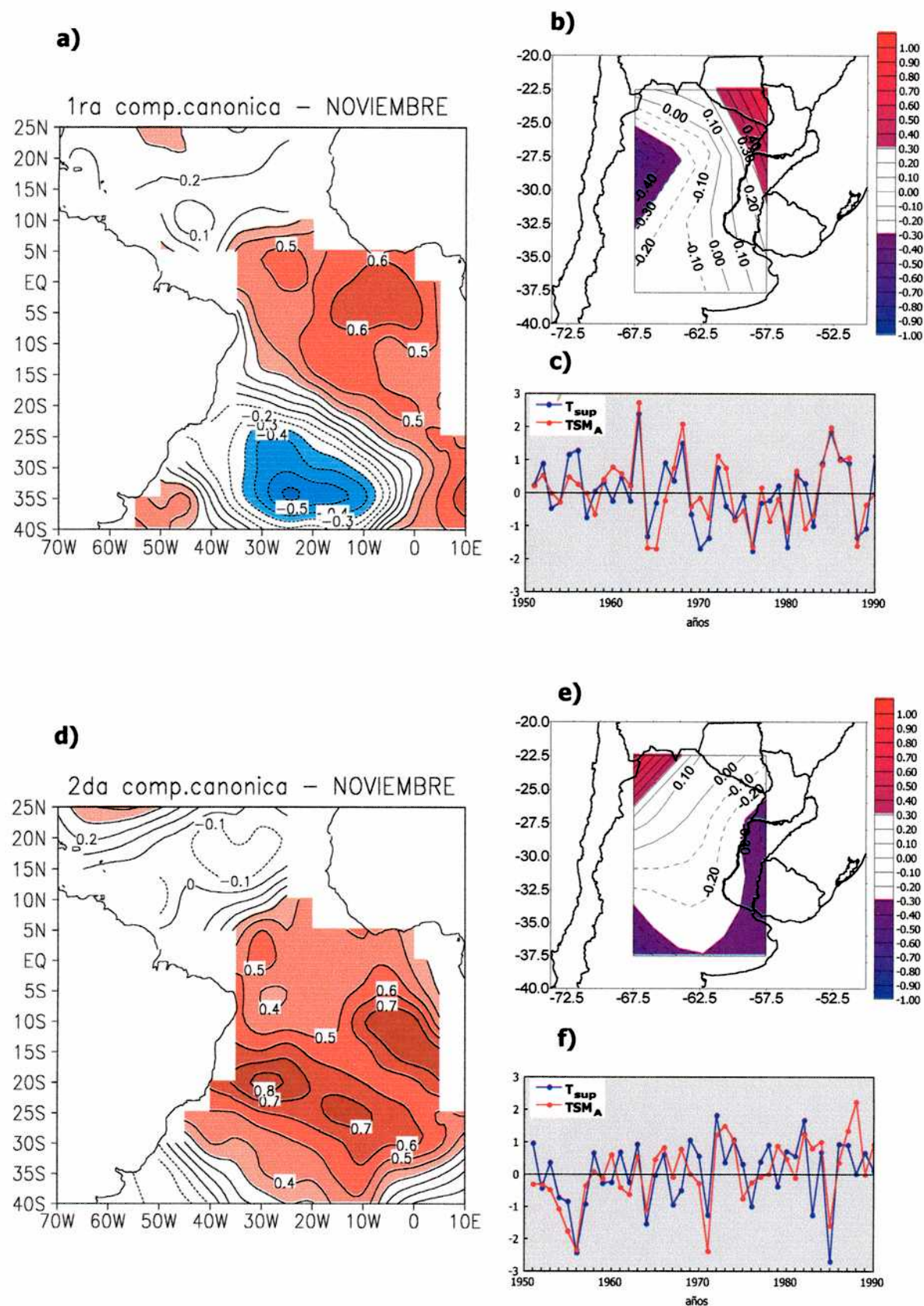


Figura 5.14. Idem Figura 5.2, para **noviembre**.

5.4. Relación entre las anomalías de la temperatura de superficie y del océano Pacífico

En las Figuras 5.15 a 5.26 se representan los patrones y vectores canónicos mensuales resultantes de la aplicación del método de CCA entre T_{sup} y $TSM_{Pacífico}$ correspondientes a la 1° y 2° componentes canónicas. Las áreas con correlaciones significativas ($|r| \geq 0.31$) se muestran sombreadas. Los gráficos se encuentran ordenados, al igual que en la sección anterior, de forma que en las Figuras 5.15 a 5.17 se presentan los meses correspondientes al trimestre de verano (diciembre, enero y febrero) y así siguiendo con los meses subsiguientes. Asimismo, en la Tabla 5.3 se presentan los coeficientes de correlación canónica (μ_{p1}) asociados a las mismas componentes. De la Tabla se desprende que en todos los meses y para las dos componentes analizadas los coeficientes de correlación canónica son positivos ($\mu_{p1} > 0$) y significativos para un nivel de confianza del 95%.

mes	μ_{p1}	μ_{p2}
Diciembre	0.77	0.65
Enero	0.79	0.62
Febrero	0.74	0.61
Marzo	0.65	0.61
Abril	0.57	0.43
Mayo	0.67	0.30
Junio	0.66	0.54
Julio	0.59	0.42
Agosto	0.56	0.47
Septiembre	0.72	0.56
Octubre	0.80	0.60
Noviembre	0.60	0.58

Tabla 5.3. Coeficientes de correlación canónica correspondientes a la 1° (μ_{p1}) y 2° (μ_{p2}) componentes del análisis entre T_{sup} y $TSM_{Pacífico}$ (en rojo se indican los coeficientes significativos para un nivel del 95%).

Los resultados correspondientes a la 1º componente de diciembre, 2º de enero y 1º de febrero, asociados principalmente a eventos El Niño/La Niña, muestran una relación inversa entre la temperatura del mar del Pacífico tropical y la temperatura en el noreste de Argentina. Estos resultados son consistentes con los de Grimm y otros (2000) que analizan la precipitación en el sur de Sudamérica durante eventos El Niño/La Niña. Sus resultados muestran que durante el verano la relación es tal que cuando el Pacífico tropical tiene anomalías cálidas se observan anomalías positivas de precipitación en el noreste de Argentina. De esta forma se justificarían las anomalías negativas en la temperatura en el noreste de Argentina a través del aumento de la nubosidad debido a la mayor precipitación teniendo en cuenta que en el Capítulo 2 se encontró una relación inversa entre la nubosidad y la temperatura en Argentina subtropical durante el verano.

En las Figuras 5.18 a 5.20 se presentan las componentes y vectores canónicos correspondientes a los meses de otoño (marzo, abril y mayo). En general se observa una relación directa entre T_{sup} y $TSM_{Pacífico}$. Las 2º componentes correspondientes a marzo y abril muestran una relación directa entre las anomalías de temperatura en el Pacífico tropical y T_{sup} que se debería a la intensificación (debilitamiento) del flujo del oeste en la tropósfera superior que tiene lugar durante estos meses de eventos cálidos (fríos) que inhibiría (favorecería) el ingreso de aire frío desde el sur (Barros y otros, 2000a). Finalmente, en las 1º componentes de marzo, abril y mayo, en las que no aparece el modo Niño/Niña, se observa que es significativa la región del Pacífico subtropical próximo a la costa sudamericana de forma que se encuentra una relación directa entre $TSM_{Pacífico}$ y T_{sup} . Esta relación podría deberse a que esa región del Pacífico es donde en general tiene origen los sistemas frontales que ingresan al continente y por lo tanto su temperatura aparece condicionando la advección térmica.

Las componentes y vectores canónicos correspondientes a los meses de junio, julio y agosto se presentan en las Figuras 5.21 a 5.23. Las 1º componentes de junio, julio y agosto guardan cierta semejanza entre sí mostrando anomalías cálidas (frías) en el Pacífico subtropical y frías (cálidas) en el ecuatorial asociadas a una pequeña señal del mismo signo en las anomalías de T_{sup} . Las 2º componentes correspondientes al trimestre de invierno muestran una relación directa entre las anomalías de $TSM_{Pacífico}$ en las regiones Niño 3 y Niño 4 y T_{sup} en Argentina subtropical. Estos resultados pueden ser explicados por la modificación de la circulación regional durante eventos cálidos (fríos) que implica una menor (mayor) frecuencia de irrupciones de frentes fríos y una mayor (menor) permanencia del aire cálido advectado desde el norte en la región de Argentina

subtropical analizada (Barros y otros, 2000a; Grimm y otros, 2000). Al igual de lo que sucede durante el otoño, en algunas componentes (por ejemplo, 1^o componentes de junio y agosto), aparece como significativa la región del Pacífico subtropical próxima a la costa sudamericana mostrando una relación directa entre las anomalías de T_{sup} y $TSM_{Pacífico}$ que se justificaría, de la misma forma que durante el otoño, debido a que es la región de donde provienen la mayor parte de los sistemas que llegan a Argentina subtropical durante el invierno (Lima y otros, 1991; Alessandro, 1998; Pezza y Ambrizzi, 2001).

Los patrones encontrados para los meses de primavera, que muestran una relación directa entre la temperatura del Pacífico ecuatorial y la temperatura en Argentina subtropical, confirman la relación observada por Barros y Silvestri (2001) entre la temperatura del Pacífico tropical y la circulación: eventos cálidos (fríos) están asociados a una intensificación (debilitamiento) de la advección de aire cálido y húmedo sobre el sudeste de Sudamérica. Los resultados de Barros y Silvestri (2001) muestran también la importancia de la temperatura del Pacífico subtropical (20°S-40°S, 170°W-110°W) que actúa modulando las diferencias en la precipitación de primavera entre eventos neutros y cálidos. Esta región del Pacífico subtropical aparece correlacionada negativamente con el Pacífico ecuatorial y con la precipitación en el sudeste de Sudamérica. En las Figuras 5.24 a 5.26 se observa que el Pacífico subtropical presenta también una relación inversa con la temperatura en Argentina subtropical, con diferencias entre los distintos meses pero que en general es significativa en la región este.

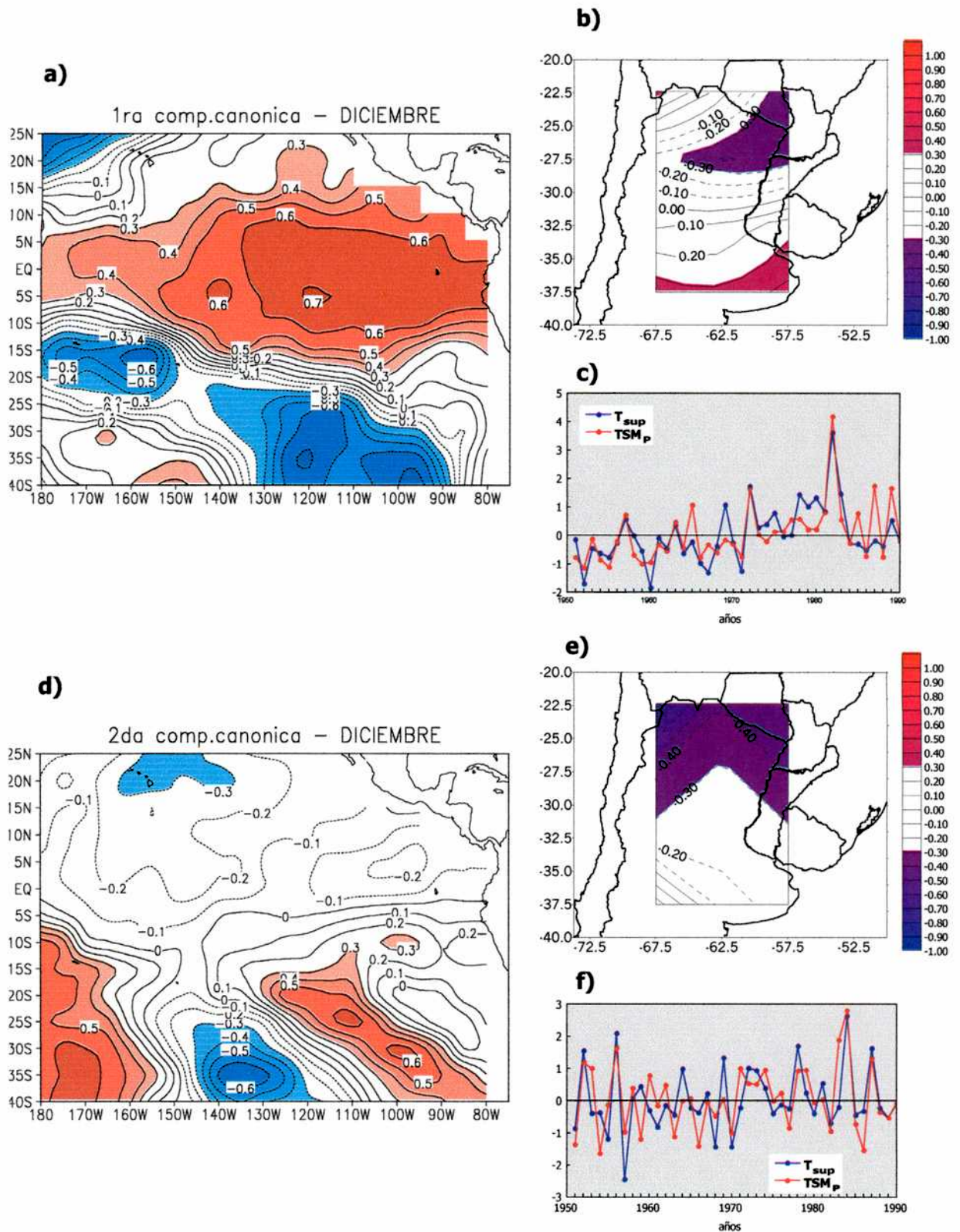


Figura 5.15. Primera y segunda componentes canónicas de las anomalías de la temperatura media mensual (T_{sup}) y del océano Pacífico (TSM_p) para **diciembre**: a) 1º patrón canónico de TSM_p , b) 1º patrón canónico de T_{sup} , c) 1º vectores canónicos, d) 2º patrón canónico de TSM_p , e) 2º patrón canónico de T_{sup} y f) 2º vectores canónicos.

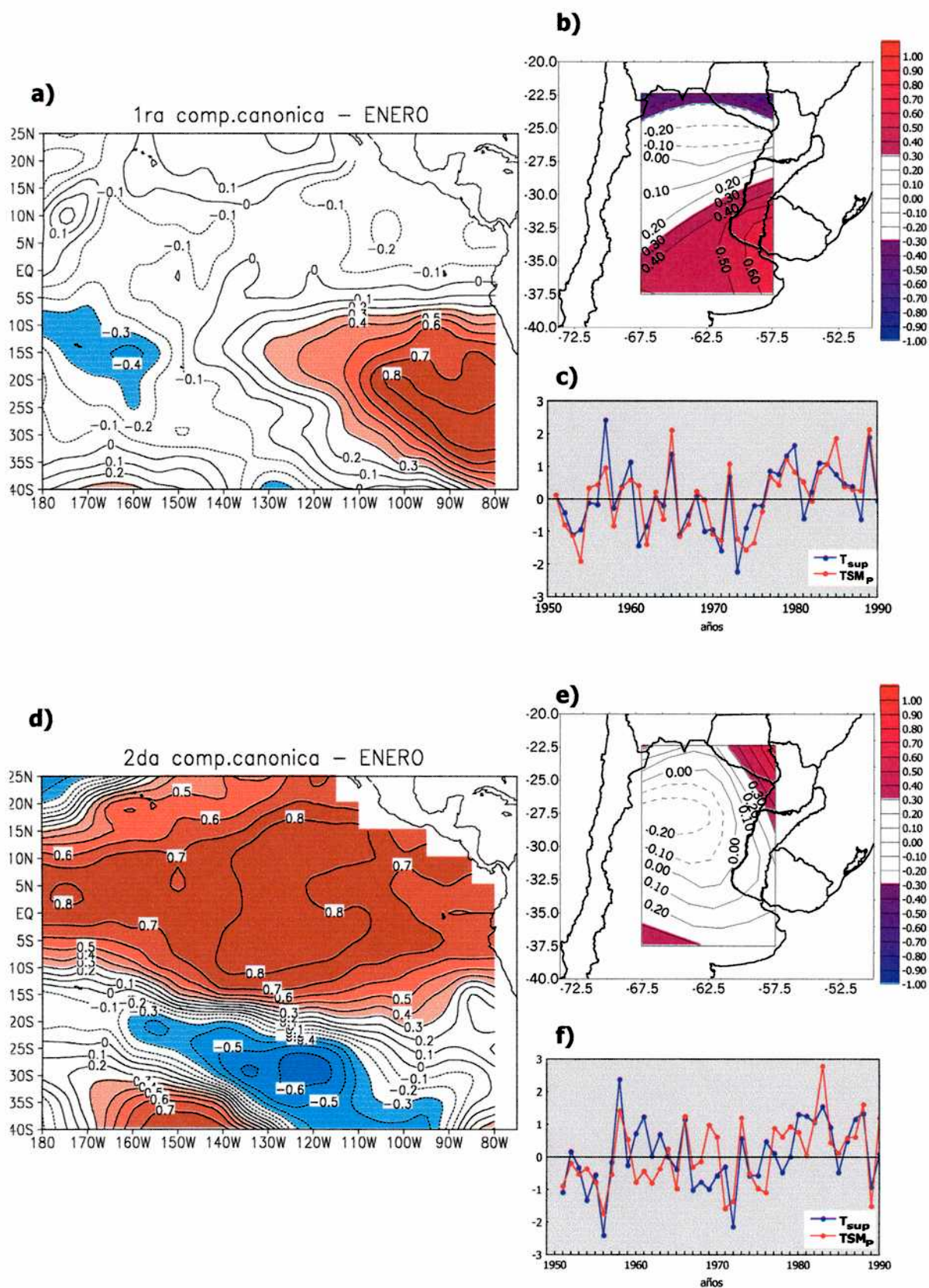


Figura 5.16. Idem Figura 5.15, para enero.

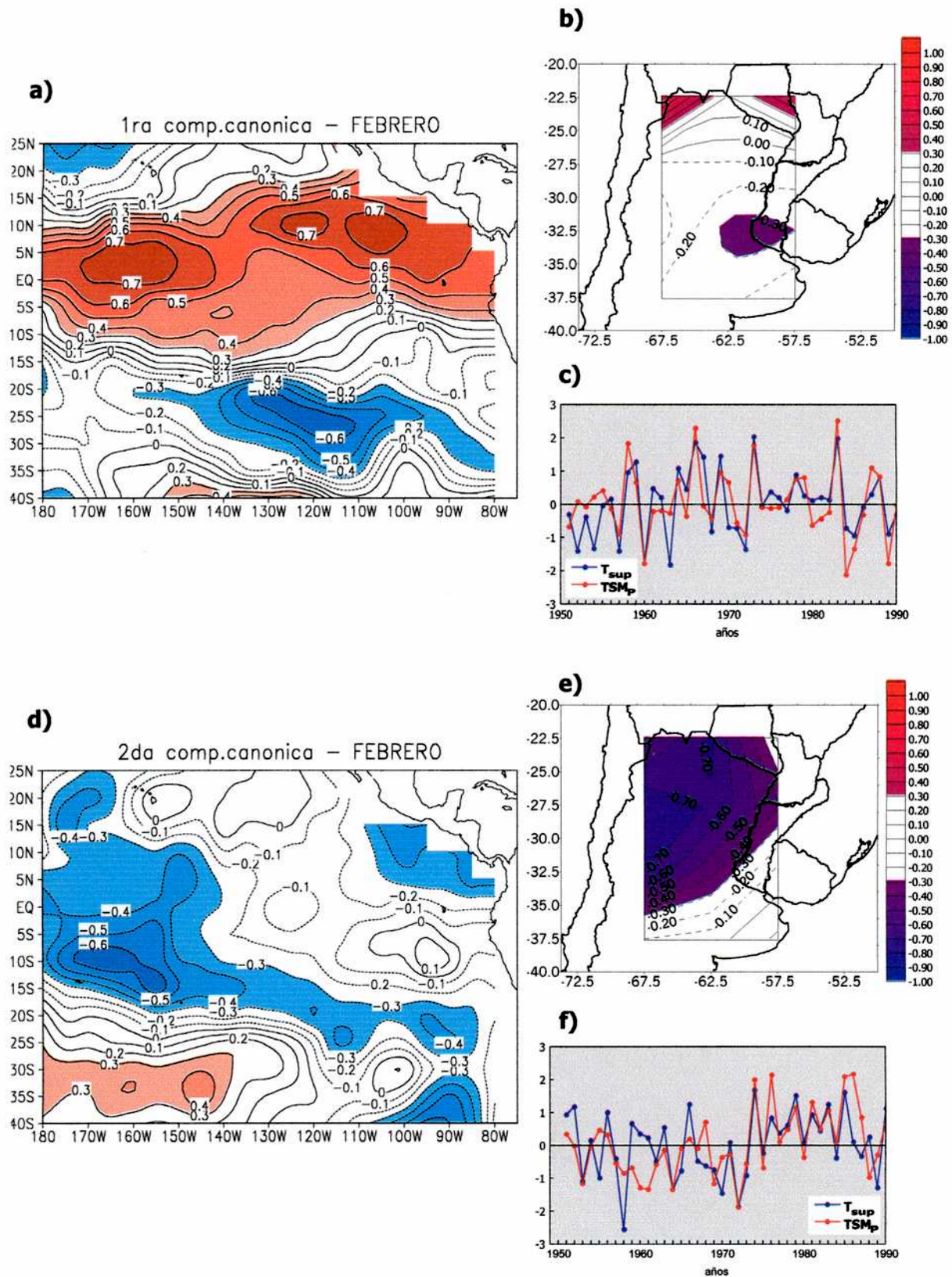


Figura 5.17. Idem Figura 5.15, para febrero.

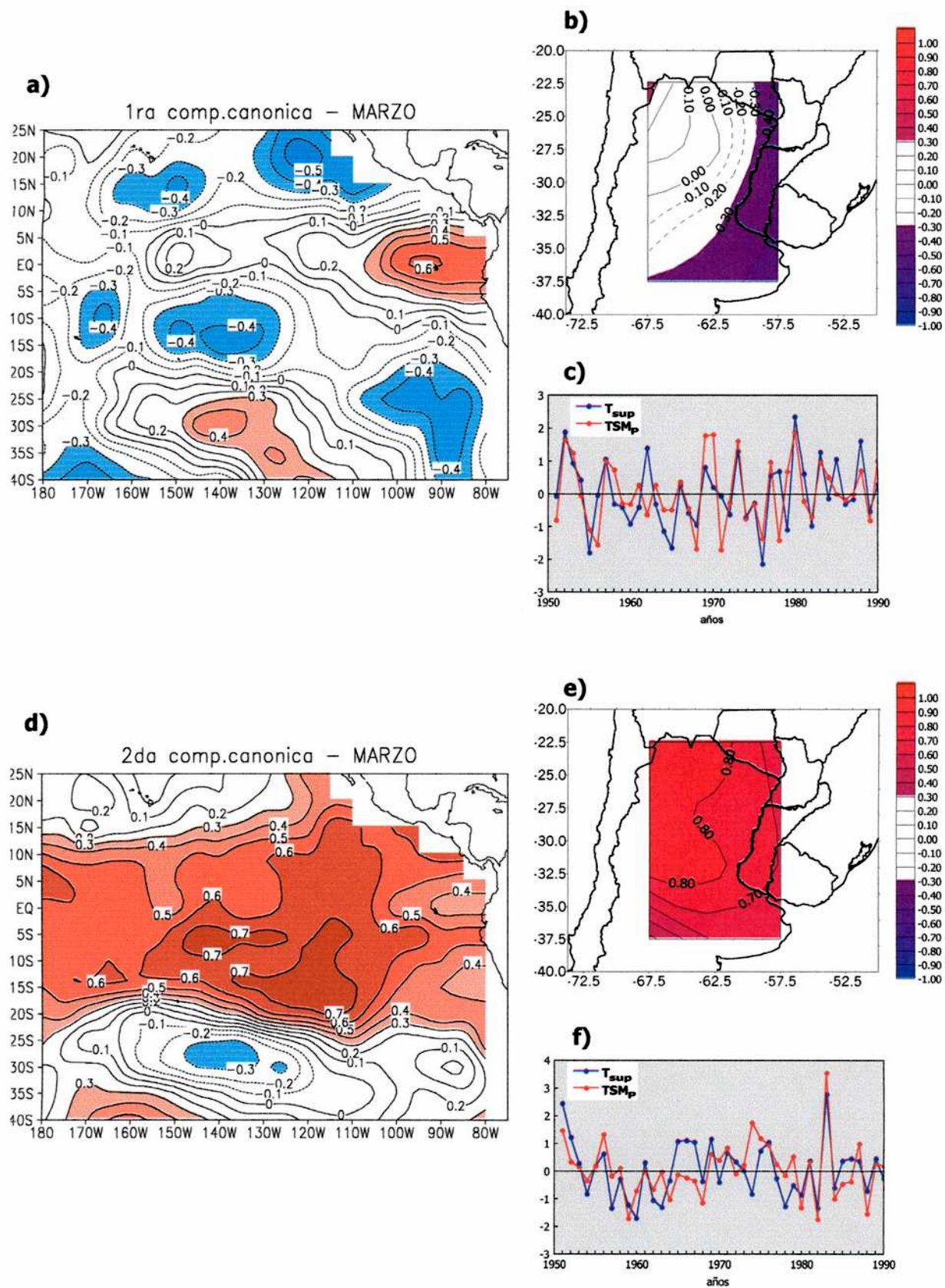


Figura 5.18. Idem Figura 5.15, para marzo.

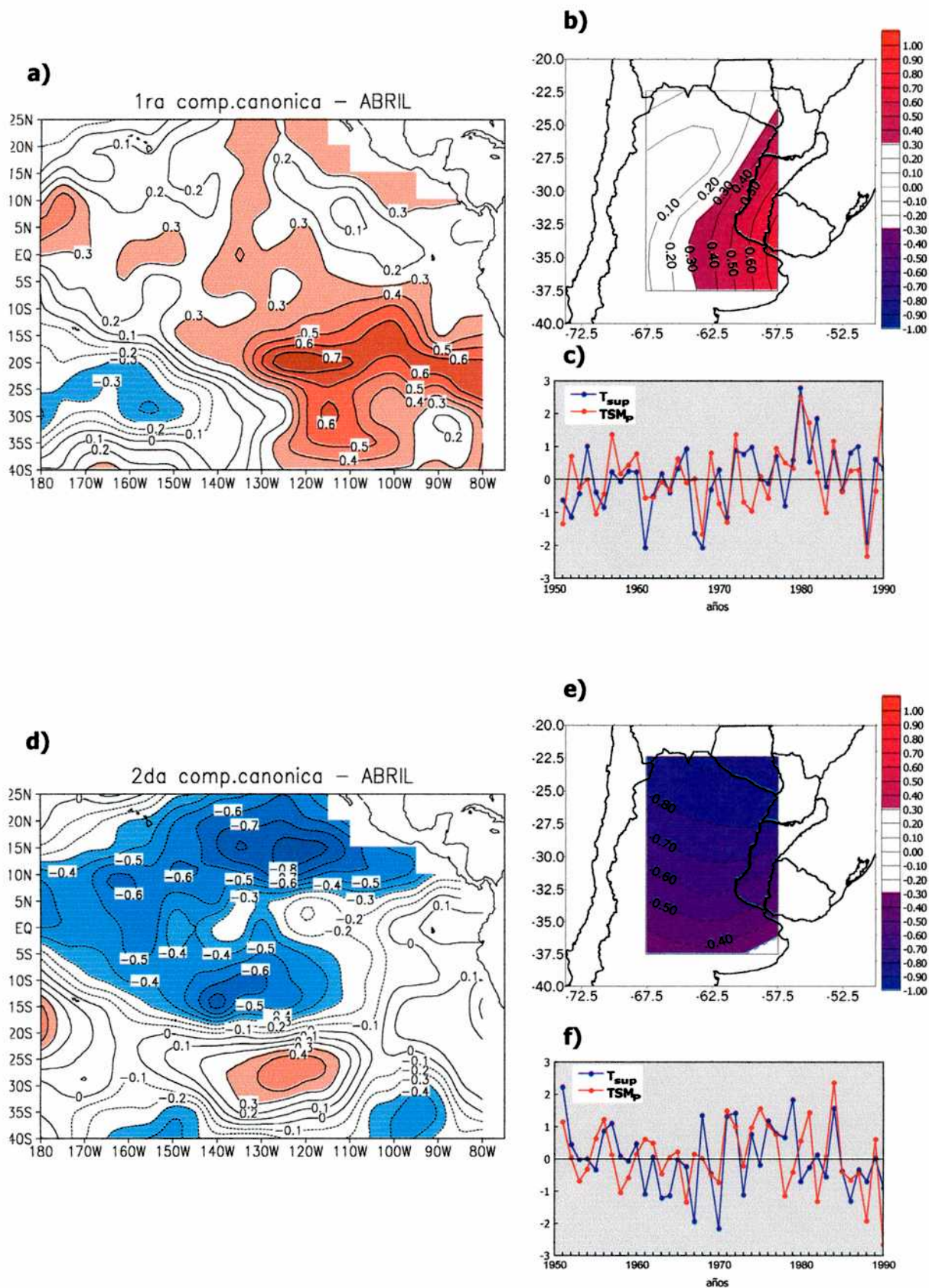


Figura 5.19. Idem Figura 5.15, para abril.

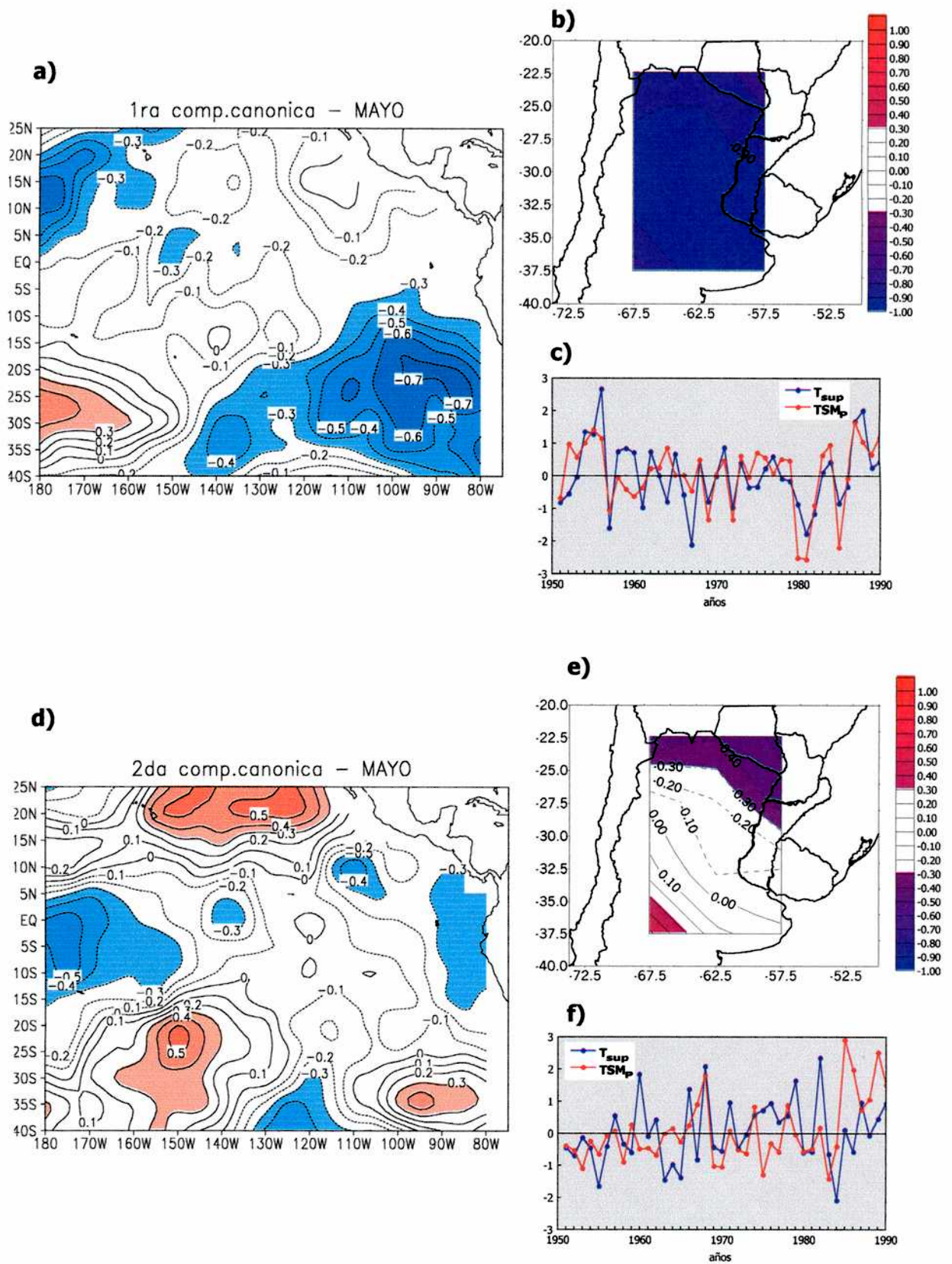


Figura 5.20. Idem Figura 5.15, para mayo.

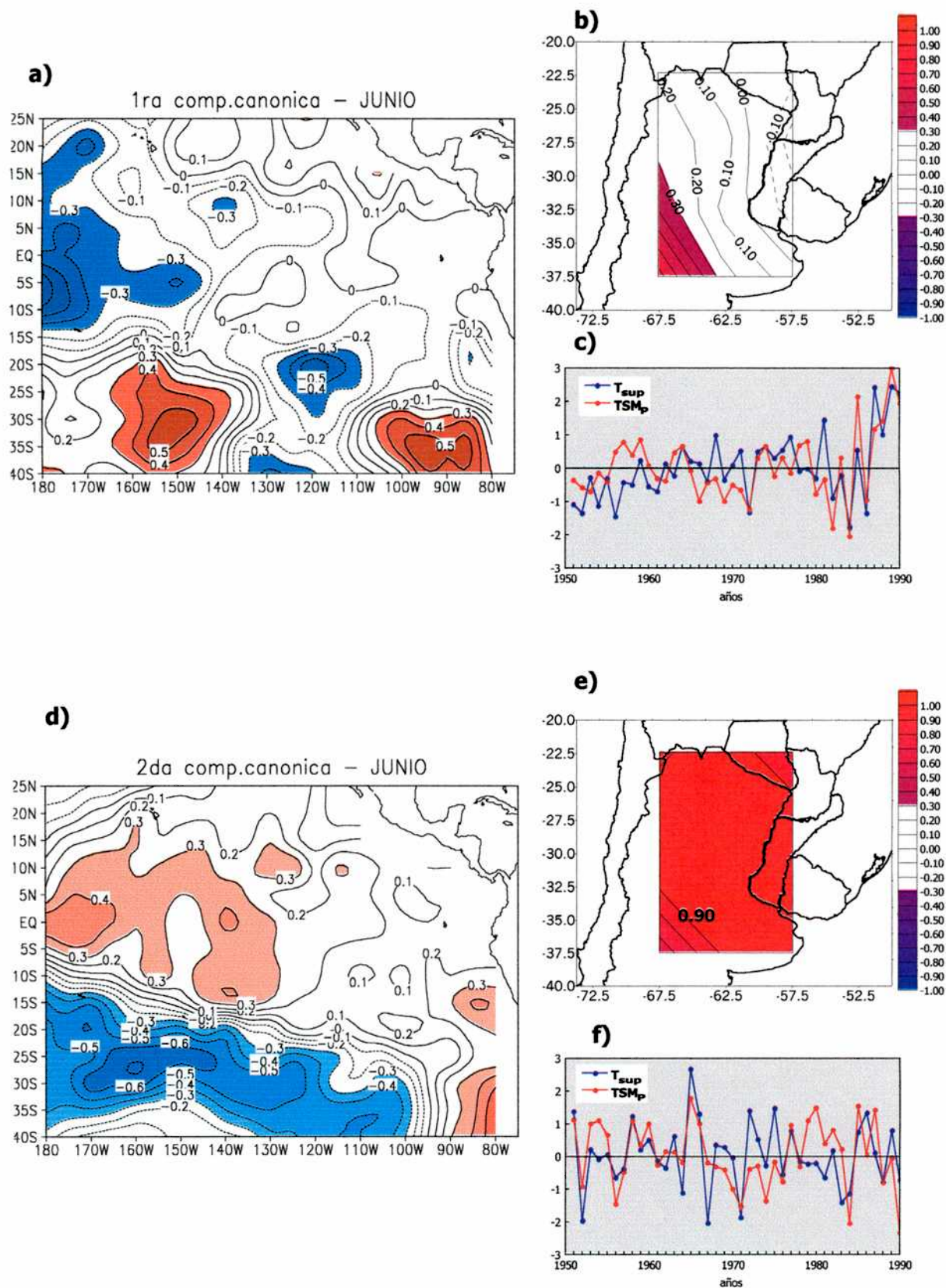


Figura 5.21. Idem Figura 5.15, para junio.

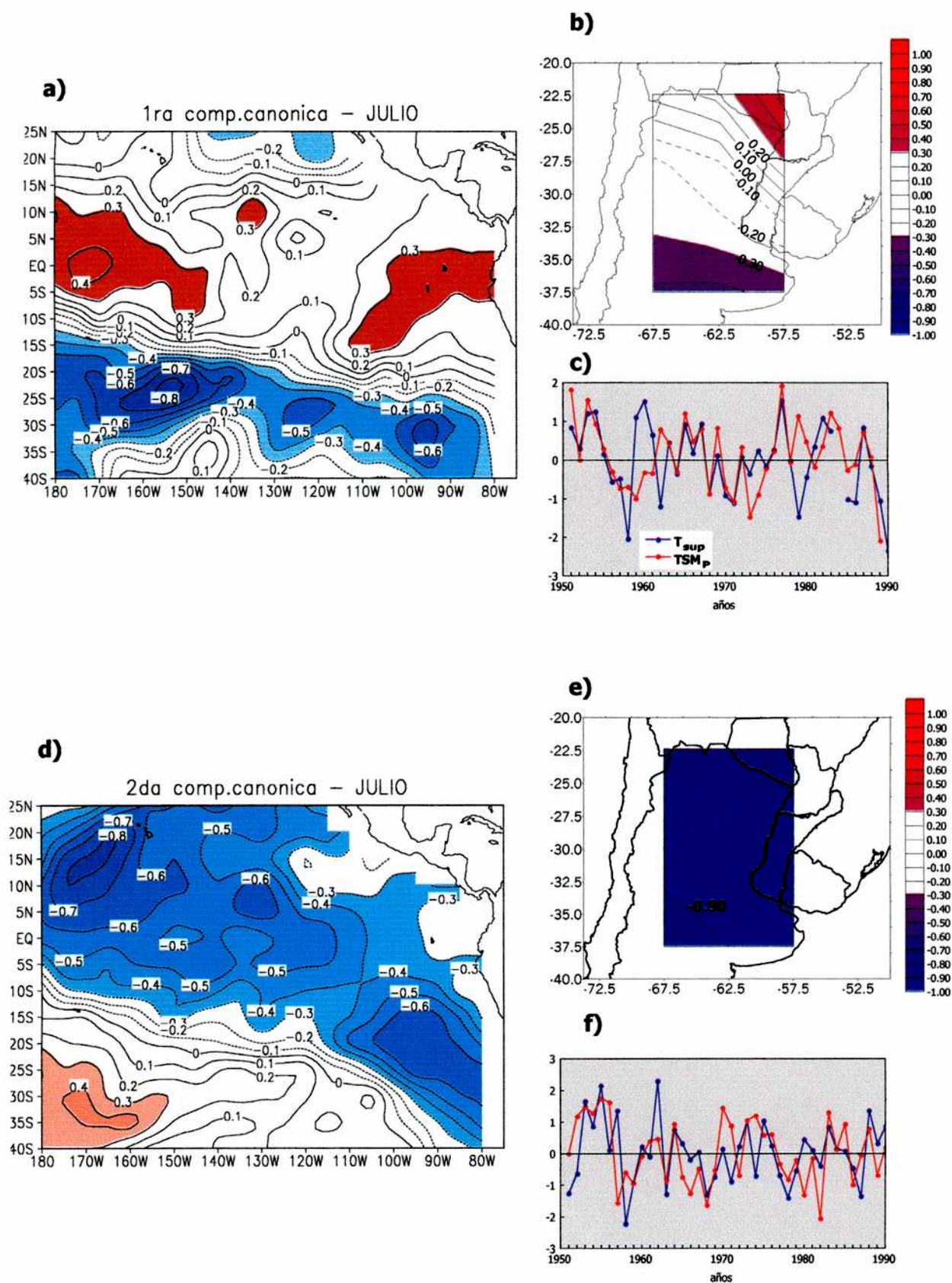


Figura 5.22. Idem Figura 5.15, para julio.

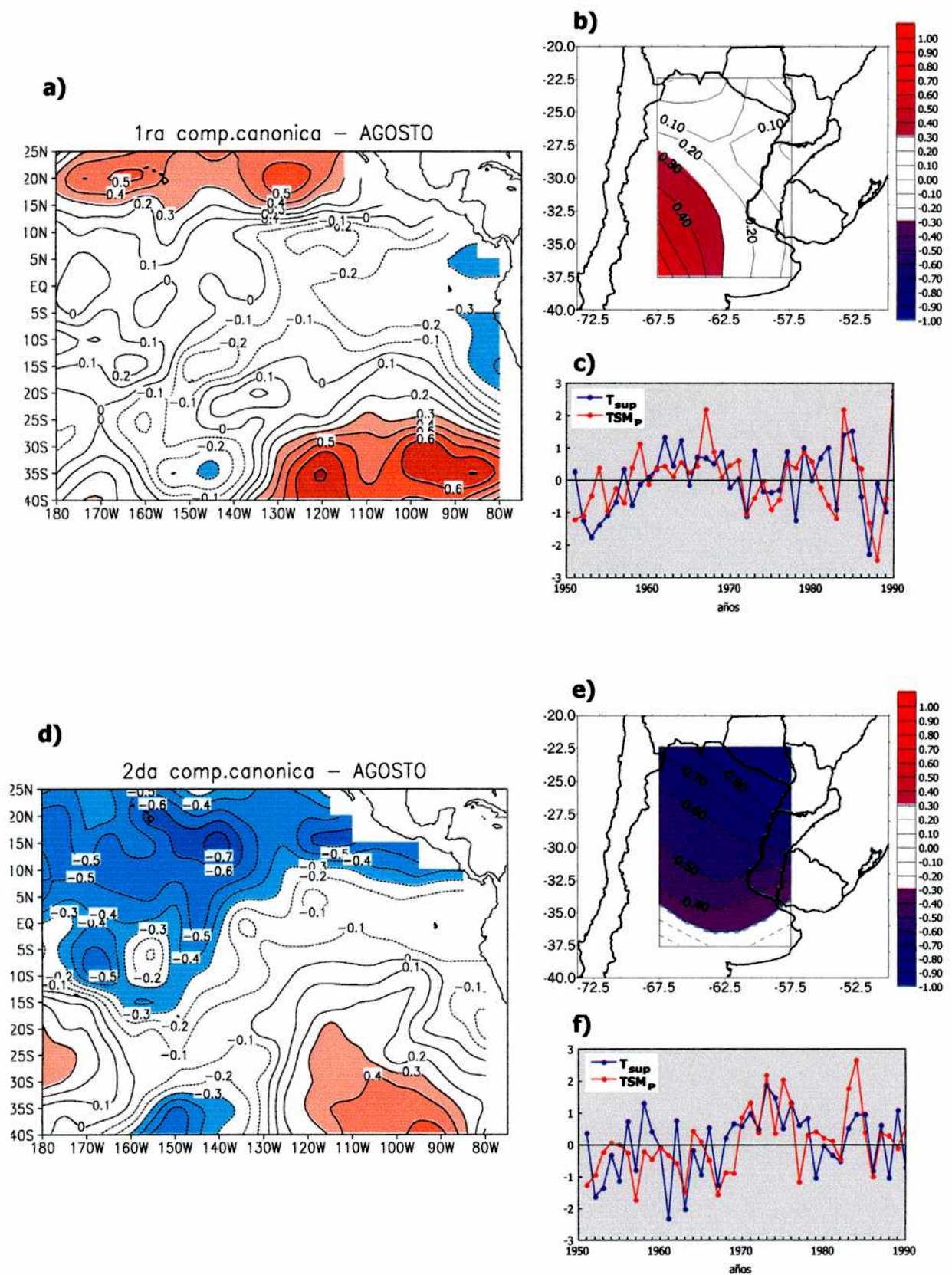


Figura 5.9. Idem Figura 5.2, para agosto.

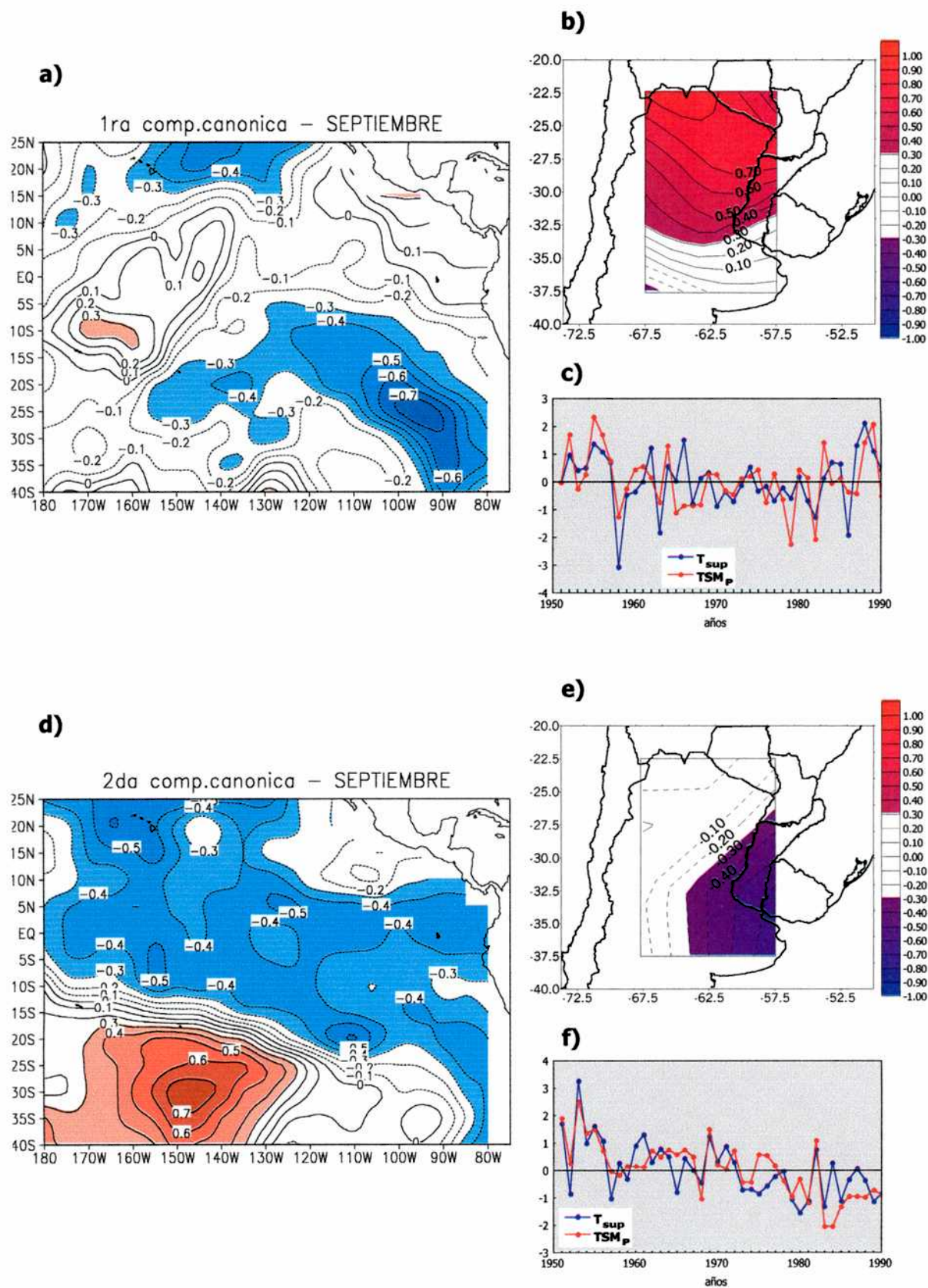


Figura 5.24. Idem Figura 5.15, para **septiembre**.

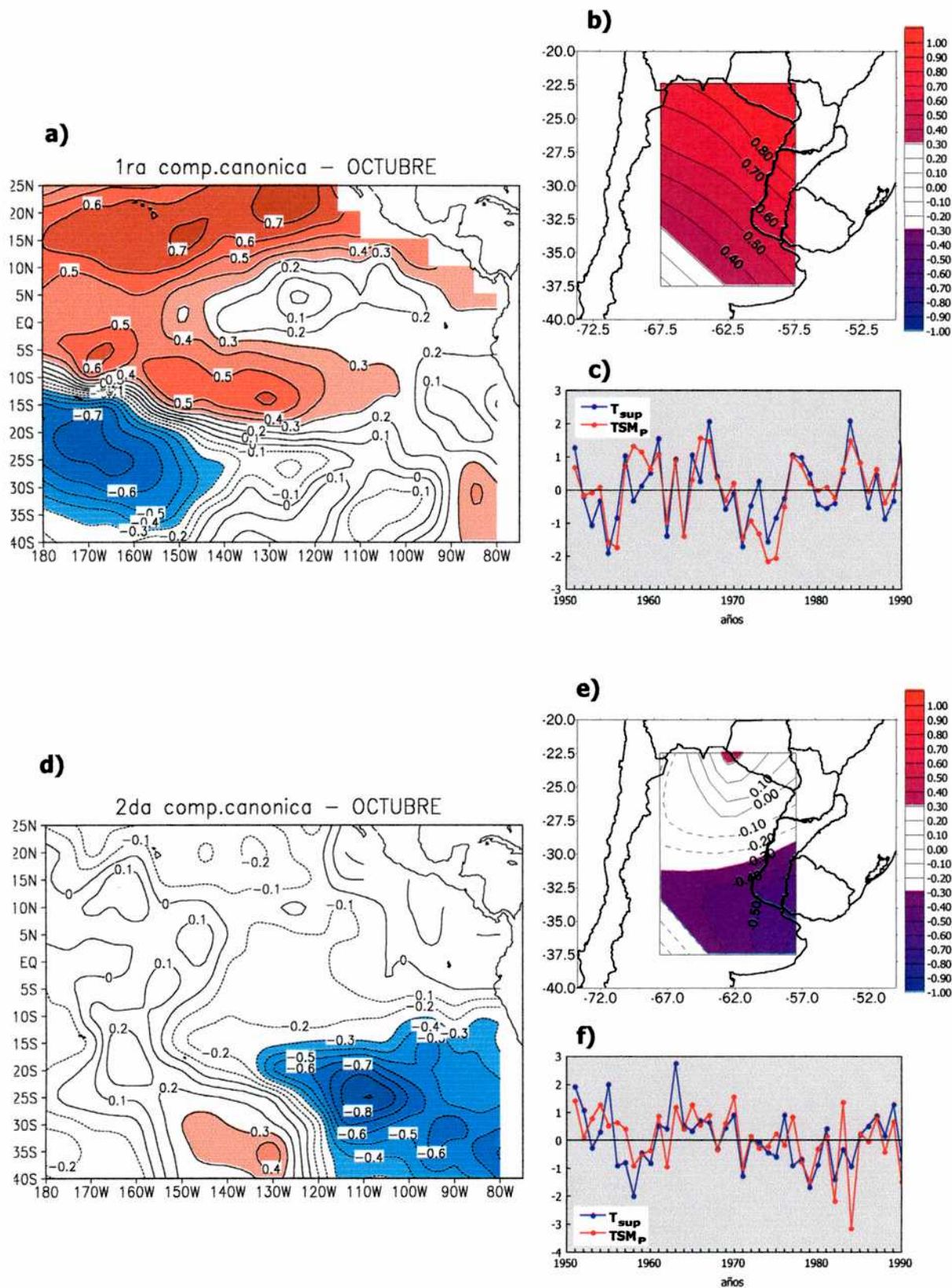


Figura 5.25. Idem Figura 5.15, para **octubre**.

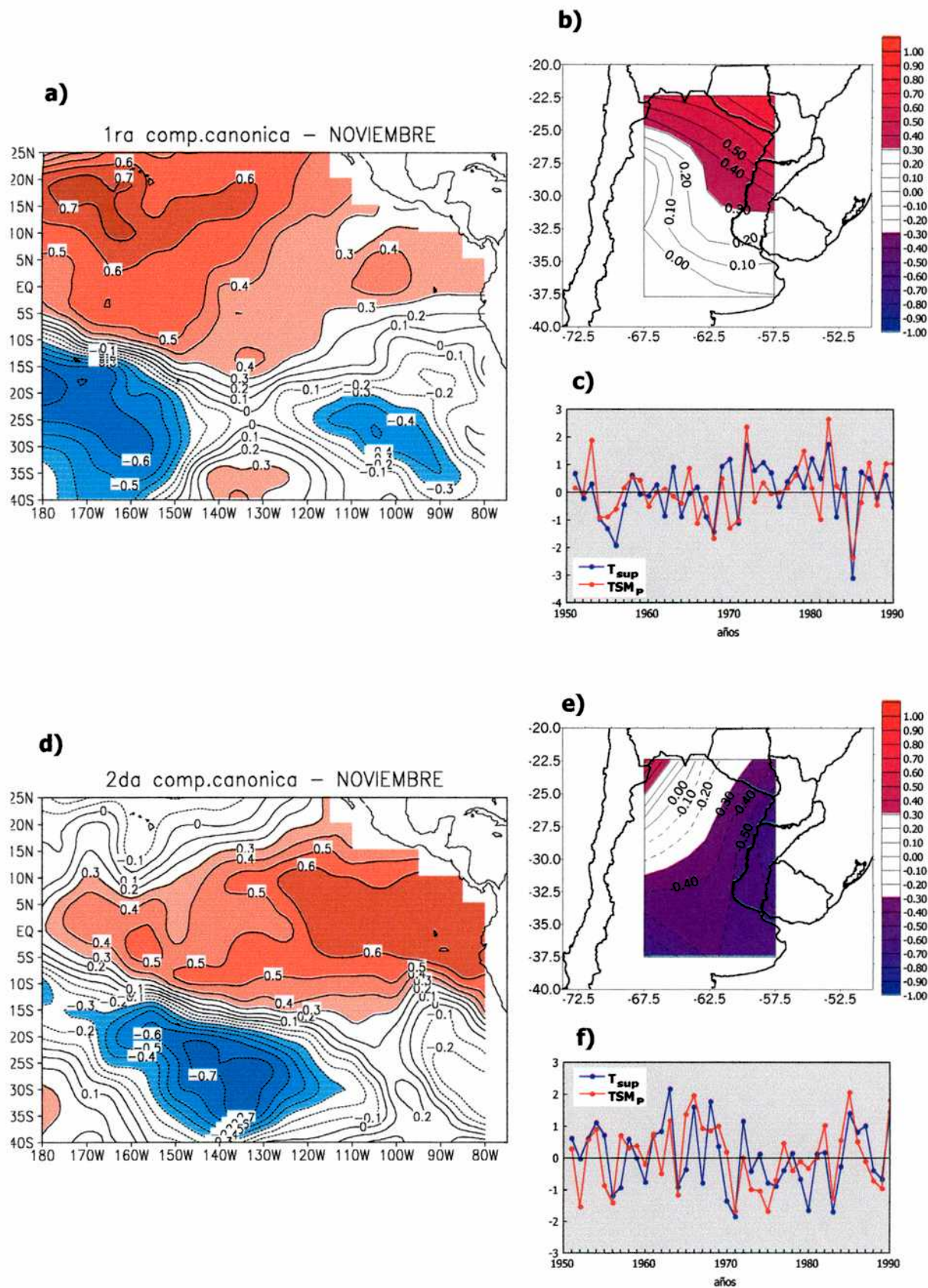


Figura 5.26. Idem Figura 5.15, para **noviembre**.

5.5. Conclusiones

En este capítulo se analiza la relación entre la temperatura del mar de los océanos Atlántico y Pacífico y la temperatura de superficie en Argentina subtropical a escala mensual. Por medio del método de análisis de correlación canónica se identificaron patrones de asociación de anomalías de ambas variables, siendo los resultados más relevantes:

- *En los meses de verano, anomalías frías (cálidas) en Argentina subtropical están asociadas a anomalías cálidas (frías) en el Atlántico en la banda 20°S-30°S. Estos resultados son consistentes con los estudios de distintos autores acerca de la relación entre la precipitación y la TSM del Atlántico ya que las anomalías negativas de T_{sup} podrían ser consecuencia del aumento de la precipitación y por ende de la nubosidad asociadas a un desplazamiento hacia el sur y debilitamiento de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) como resultado de un calentamiento en el Atlántico hacia el sur de la ZCAS. Contrariamente, debido a la advección de calor desde el norte mostrada por Doyle (2001) cuando las anomalías de la temperatura del Atlántico en la banda 20°S-30°S son positivas, deberían registrarse mayores temperaturas medias en Argentina subtropical. La relación inversa obtenida entre T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ indica que es predominante la asociación, también inversa, entre T_{sup} en Argentina subtropical y la nubosidad durante los meses estivales obtenida en el Capítulo 2.*
- *Durante el otoño se encuentra una relación directa entre T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ que se debería a que el flujo en superficie en Argentina subtropical durante esa época del año es predominantemente del este.*
- *No se encuentran señales claras en la relación entre T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ durante el invierno. La región del Atlántico más relevante en esta época del año es la ecuatorial que muestra una relación inversa con la temperatura en la región noreste de Argentina subtropical.*
- *Durante septiembre y octubre se observa, en general, una relación directa entre las anomalías de T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ para la región del Atlántico comprendida especialmente entre 20°S y 40°S que indica, al igual que lo que ocurre durante el otoño, el predominio de los efectos advectivos desde el mar. Las componentes*

de noviembre son sustancialmente diferentes a las de septiembre y octubre, presentando pequeñas zonas significativas de T_{sup} .

- *Los patrones correspondientes al verano, asociados principalmente a eventos El Niño/La Niña muestran una relación inversa entre la temperatura del mar del Pacífico tropical y la temperatura en el noreste de Argentina. Las anomalías negativas en la temperatura en el noreste de Argentina durante eventos cálidos se deberían al aumento de la nubosidad debido a la mayor precipitación.*
- *En marzo y abril los patrones canónicos obtenidos muestran una relación directa entre las anomalías de temperatura en el Pacífico tropical y T_{sup} que se debería a la intensificación (debilitamiento) del flujo del oeste en la tropósfera superior que tiene lugar durante estos meses de eventos cálidos (fríos) que inhibiría (favorecería) el ingreso de aire frío desde el sur.*
- *En las componentes de otoño en las que no aparece el modo Niño/Niña, se observa que es significativa la región del Pacífico subtropical próximo a la costa sudamericana de forma que se encuentra una relación directa entre $TSM_{Pacífico}$ y T_{sup} . Esta relación podría deberse a que esa región del Pacífico es donde en general tiene origen los sistemas frontales que ingresan al continente y por lo tanto su temperatura aparece condicionando la advección térmica.*
- *Durante el invierno se observa una relación directa entre las anomalías de $TSM_{Pacífico}$ en la región ecuatorial y T_{sup} en Argentina subtropical de forma que eventos El Niño están asociados a anomalías cálidas de T_{sup} y eventos La Niña a anomalías frías. Esto se debería a la modificación de la circulación regional durante eventos cálidos (fríos) que implica una menor (mayor) frecuencia de irrupciones de frentes fríos y una mayor (menor) permanencia del aire cálido advectado desde el norte en Argentina subtropical.*
- *Al igual de lo que sucede durante el otoño, en algunos de los meses de invierno aparece como significativa la región del Pacífico subtropical próxima a la costa sudamericana mostrando una relación directa entre las anomalías de T_{sup} y $TSM_{Pacífico}$. Esta relación se justificaría, de la misma forma que durante el otoño,*

debido a que es la región de donde provienen la mayor parte de los sistemas que llegan a Argentina subtropical durante el invierno.

- *Los patrones canónicos de primavera muestran una relación directa entre la temperatura del Pacífico ecuatorial y la temperatura en Argentina subtropical, confirmando la relación observada por Barros y Silvestri (2001) entre la temperatura del Pacífico tropical y la circulación: eventos cálidos (fríos) están asociados a una intensificación (debilitamiento) de la advección de aire cálido y húmedo sobre el sudeste de Sudamérica. El Pacífico subtropical muestra una relación inversa con la temperatura en Argentina subtropical, con diferencias entre los distintos meses de la primavera pero que en general es significativa en la región este.*

CAPÍTULO 6

Importancia relativa de los distintos factores que determinan la temperatura media mensual en Argentina subtropical

6.1. Introducción

En los capítulos precedentes se analizó la relación entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y un conjunto de factores climáticos: nubosidad, humedad del suelo, posición de los vientos máximos en 200 hPa, número de pasaje de perturbaciones y temperatura de la superficie del mar de los océanos Atlántico y Pacífico. De esta forma se realizó un estudio de la forma en que cada uno de estos factores se vincula individualmente y para cada mes con la temperatura, pero sin poder extraer conclusiones acerca de que porcentaje de varianza puede ser explicado en conjunto en la determinación de la temperatura mensual. En este capítulo se busca formular un modelo de estimación de la temperatura media mensual para diferentes subregiones de Argentina subtropical en función de los factores antes citados y pesando la importancia relativa de cada uno de ellos. El análisis que se realiza es para cuatro meses, cada uno de los cuales es representativo de una estación: enero, abril, julio y octubre.

6.2. Definición de subregiones dentro del área de estudio

Para definir subregiones relativamente homogéneas desde el punto de vista térmico se aplicó el método de componentes principales rotadas (Varimax normalizado) con matriz de entrada en modo-S reteniéndose las tres primeras componentes para cada mes. En la Figura 6.1 se presentan los campos de factor loadings obtenidos en cada caso.

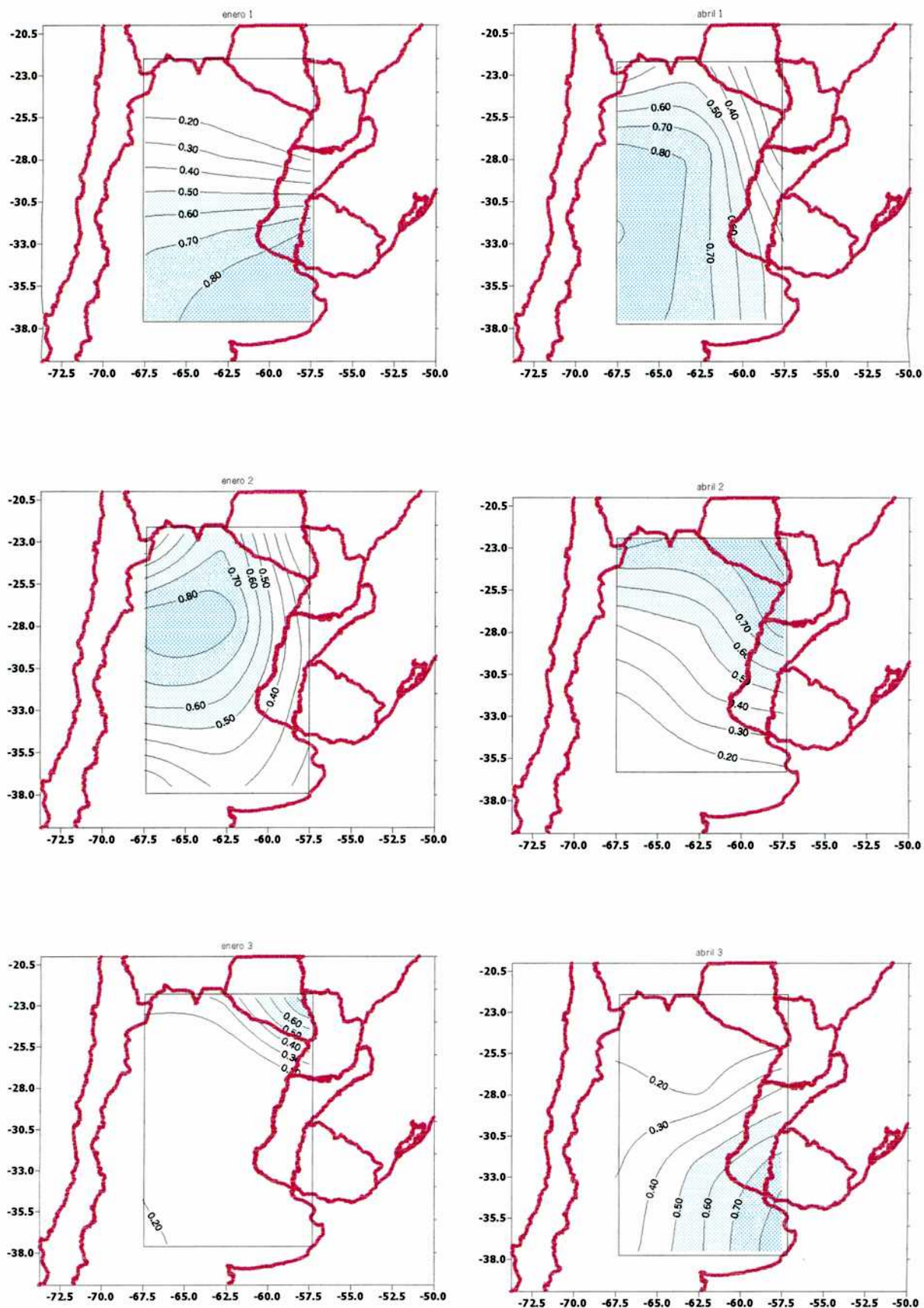


Figura 6.1a. Campos de factor loadings correspondientes a las tres primeras componentes principales de enero y abril.

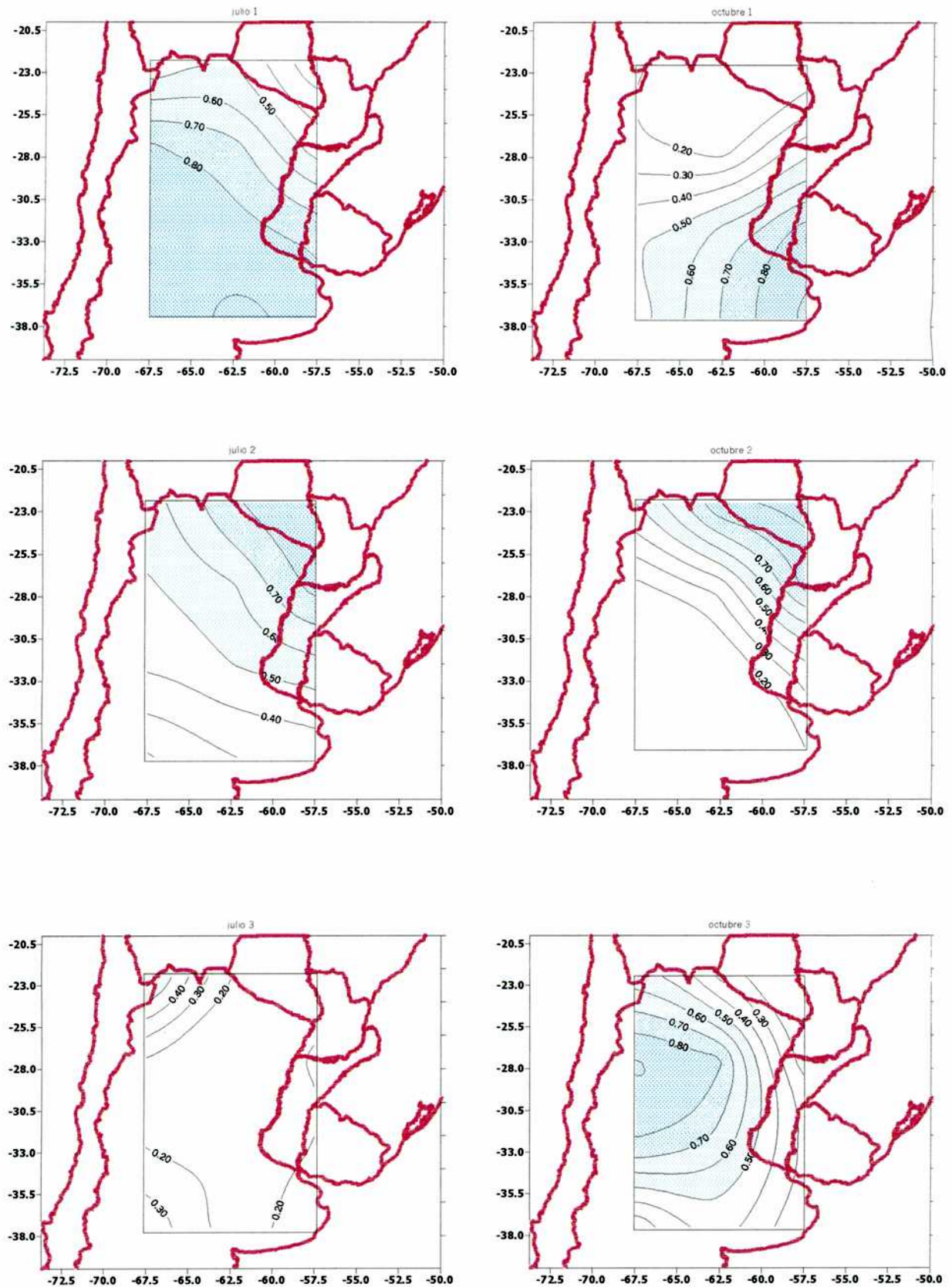


Figura 6.1b. Campos de factor loadings correspondientes a las tres primeras componentes principales de julio y octubre.

A partir de la Figura 6.1 se definieron tres subregiones identificables principalmente en enero, abril y octubre y con algunas diferencias en julio. Estas subregiones coinciden además con los resultados de la regionalización realizada en el Capítulo 1 al estudiar la variación interdecádica de la temperatura. Las regiones definidas son:

Zona oeste: Mendoza, San Juan, La Rioja, San Luis, Catamarca, Oeste de Córdoba

Zona noreste: Misiones, Corrientes, Formosa, Chaco

Zona sudeste: Buenos Aires, La Pampa, Entre Ríos, Santa Fe

6.3. Modelo de estimación de la temperatura media mensual

La suposición realizada sobre la que se basa el modelo sostiene que la temperatura media de un mes determinado y una dada región puede ser descripto mediante una función de los siguientes factores:

- Nubosidad (NUB)
- Humedad del suelo (H)
- Posición del viento máximo en 200 hPa (L)
- Número de pasaje de perturbaciones (N)
- Temperatura del mar del océano Atlántico (TM_A)
- Temperatura del mar del océano Pacífico (TM_P)

$$T = f(NUB, H, L, N, TM_A, TM_P) \quad (6.1)$$

En función de los resultados obtenidos en los capítulos precedentes se construyeron un conjunto de variables, algunas de las cuales representan promedios areales de estas variables en las subregiones definidas anteriormente. En la Tabla 6.1 se indica las estaciones meteorológicas consideradas dentro de cada una de las tres subregiones definidas: oeste, noreste y sudeste. En el caso de la temperatura del mar, se construyeron series en función de las áreas identificadas en el Capítulo 5 a través del método de correlación canónica.

Región oeste	Región noreste	Región sudeste
Catamarca	Corrientes	Mar del Plata
Mendoza	Formosa	Aeroparque
San Juan	Las Lomitas	Tandil
Córdoba	Posadas	
La Rioja	Pres.Roque Saenz Peña	

Tabla 6.1. Estaciones meteorológicas incluidas en cada una de las subregiones definidas en el Capítulo 1.

Las variables definidas son:

NUB_{9-O}: nubosidad media de la hora 09.00 de la región oeste

NUB_{9-NE}: nubosidad media de la hora 09.00 de la región noreste

NUB_{9-SE}: nubosidad media de la hora 09.00 de la región sudeste

NUB_{15-O}: nubosidad media de la hora 15.00 de la región oeste

NUB_{15-NE}: nubosidad media de la hora 15.00 de la región noreste

NUB_{15-SE}: nubosidad media de la hora 15.00 de la región sudeste

H_O: humedad media del suelo en la región oeste

H_{NE}: humedad media del suelo en la región oeste

H_{SE}: humedad media del suelo en la región oeste

N_{SR}: número de pasaje de perturbaciones en Santa Rosa

N_{PA}: número de pasaje de perturbaciones en Paraná

N_{PO}: número de pasaje de perturbaciones en Posadas

L: posición del viento máximo en 200 hPa

TSM_P - ENERO 1+: temperatura media del mar del área (80°W-110°W, 35°S-15°S)

TSM_P - ENERO 2+: temperatura media del mar del área (100°W-180°W, 10°N-10°S)

TSM_P - ENERO 2-: temperatura media del mar del área (110°W-130°W, 25-35°S)

TSM_P - ABRIL 1+: temperatura media del mar del área (110°W-130°W, 20°S-25°S)

TSM_P - ABRIL 2-: temperatura media del mar del área (120°W-130°W, 25°S-30°S)

TSM_P - ABRIL 2+: temperatura media del mar del área (120°W-150°W, 5°S-15°S)

- TSM_P - JULIO 1+:** temperatura media del mar del área (150°W-170°W, 20°S-30°S) + (85°W-100°W, 25°S-40°S)
- TSM_P - JULIO 2+:** temperatura media del mar del área (80°W-110°W, 10°S-30°S)
- TSM_P - OCTUBRE 1+:** temperatura media del mar del área (120°W-160°W, 10°S-15°S)
- TSM_P - OCTUBRE 1-:** temperatura media del mar del área (150°W-180°W, 15°S-35°S)
- TSM_P - OCTUBRE 2+:** temperatura media del mar del área (100°W-120°W, 15°S-30°S)
- TSM_A - ENERO 1+:** temperatura media del mar del área (45°W-55°W, 35°S -40°S)
- TSM_A - ENERO 1-:** temperatura media del mar del área (25°W-40°W, 10°S-25°S)
- TSM_A - ENERO 2-:** temperatura media del mar del área (0°-30°W, 5°N-5°S)
- TSM_A - ABRIL 1+:** temperatura media del mar del área (40°W-55°W, 30°S-40°S)
- TSM_A - ABRIL 2+:** temperatura media del mar del área (0°-35°W, 5°N-5°S)
- TSM_A - JULIO 1-:** temperatura media del mar del área (10°W-30°W, 5°S-20°S)
- TSM_A - OCTUBRE 1+:** temperatura media del mar del área (30°W-50°W, 20°S-35°S)
- TSM_A - OCTUBRE 2+:** temperatura media del mar del área (20°W-40°W, 25°S-40°S)

En el caso de las series construidas a partir de la temperatura del mar de los océanos Atlántico y Pacífico, los subíndices 1 y 2 se utilizan para indicar si corresponden a áreas definidas a partir de la primera (1) o segunda (2) componente canónica mientras que los signos (+) y (-) representan si se refiere a áreas de correlaciones positivas (color rojo) o negativas (color azul) en las Figuras 5.3, 5.6, 5.9, 5.12, 5.15, 5.18, 5.21, 5.24.

6.4. Metodología

Existen varios métodos estadísticos que permiten relacionar dos conjuntos de variables. Entre los más utilizados en los últimos años se encuentran la regresión múltiple y las redes neuronales. En este capítulo se propone utilizar un método de regresión múltiple para relacionar la temperatura media mensual en las diferentes subregiones definidas con el conjunto de variables atmosféricas y oceánicas listadas anteriormente. El modelo propuesto es de tipo polinómico y puede ser representado a través de la siguiente expresión:

$$T_j = \sum_{i=1}^N a_{ij} x_{ij} \quad (6.2)$$

donde T_j es la temperatura media de la región j ($j=1, 2, 3$) correspondiente a enero, abril, julio y octubre para el período 1959-90, a_{ij} son los coeficientes del polinomio y x_{ij} son las variables meteorológicas y de temperatura del mar normalizadas definidas en la sección anterior. Cada variable (VAR) fue normalizada como:

$$VAR_{normalizada} = (VAR_{m\acute{a}x} - VAR) / (VAR_{m\acute{a}x} - VAR_{m\acute{i}n}) \quad (6.3)$$

donde $VAR_{m\acute{a}x}$ y $VAR_{m\acute{i}n}$ son los valores máximo y mínimo de cada variable y $VAR_{normalizada}$ representa la variable normalizada.

Las N variables a considerar para cada mes y región son seleccionadas aplicando el método de regresión múltiple Stepwise (Draper and Smith, 1966). Este método es una técnica estadística útil para encontrar la relación existente entre una variable dependiente y un conjunto de variables independientes que permite seleccionar dichas variables de acuerdo con un orden de importancia y sin forzar la inclusión de ninguna de ellas. El criterio de importancia está basado en la proporción de varianza explicada: la variable independiente que más varianza explica en cada paso es incorporada a la regresión.

Por lo tanto, utilizando este método se pueden calcular los coeficientes a_{ij} y la ordenada al origen de la ecuación (6.2), así como saber cuales son las variables más importantes en la regresión propuesta para cada zona y época del año analizado. Dado que las variables se encuentran normalizadas, el signo de los coeficientes así como su magnitud permiten tener una indicación de la importancia relativa de cada una de ellas, lo cual será tenido en cuenta en la discusión posterior.

6.5. Resultados

A continuación se presentan las ecuaciones obtenidas a través de la aplicación del método Stepwise para cada una de las tres subregiones y de los cuatro meses analizados. Se indican también los coeficientes de correlación múltiple de forma de indicar la proporción de varianza explicada por cada uno de los modelos obtenidos.

Zona oeste

Enero

$$T_{ene-o} = 27.31 + 0.92 * (TSM_p - ENERO\ 1+) - 1.37 * (L) - 0.24 * (NUB_{15-o})$$

$$R^2 = 0.22$$

Abril

$$T_{abr-o} = 21.67 - 0.60 * (N_{po}) + 1.10 * (TSM_p - ABRIL\ 2+) - 1.45 * (L)$$

$$R^2 = 0.58$$

Julio

$$T_{jul-o} = 13.12 - 0.37 * (N_{pa}) + 1.86 * (TSM_p - JULIO\ 2+)$$

$$R^2 = 0.44$$

Octubre

$$T_{oct-o} = 20.39 + 1.98 * (TSM_A - OCTUBRE\ 1+) - 0.27 * (NUB_{9-o}) - 1.14 * (TSM_A - OCTUBRE\ 2+)$$

$$R^2 = 0.41$$

Zona noreste

Enero

$$T_{ene-NE} = 29.11 - 2.08 * (L) + 0.94 * (TSM_A - ENERO\ 1+) - 0.40 * (N_{pa}) + 0.25 * (N_{sr})$$

$$R^2 = 0.79$$

Abril

$$T_{abr-NE} = 25.71 - 3.73 * (L) + 0.91 * (TSM_A - ABRIL\ 1+) + 0.93 * (TSM_p - ABRIL\ 2+)$$

$$R^2 = 0.59$$

Julio

$$T_{jul-NE} = 16.22 - 0.37 * (N_{po}) + 0.65 * (NUB_{15-NE}) - 1.08 * (H_{NE}) + 1.77 * (TSM_p - JULIO\ 2+)$$

$$R^2 = 0.52$$

Octubre

$$T_{\text{Oct-NE}} = 26.26 - 2.71 * (L) - 0.66 * (TSM_P - \text{OCTUBRE1+}) - 0.18 * (N_{PA}) - 0.39 * (H_{NE})$$

$$R^2 = 0.59$$

Zona sudeste

Enero

$$T_{\text{ene-SE}} = 22.29 + 1.08 * (TSM_P - \text{ENERO 1+}) + 0.67 * (TSM_A - \text{ENERO 1+})$$

$$R^2 = 0.48$$

Abril

$$T_{\text{abr-SE}} = 17.43 + 1.15 * (TSM_A - \text{ABRIL 1+}) - 0.33 * (N_{PO}) + 1.30 * (TSM_P - \text{ABRIL 1+})$$

$$R^2 = 0.70$$

Julio

$$T_{\text{jul-SE}} = 13.02 - 0.21 * (N_{PA}) - 0.17 * (N_{SR})$$

$$R^2 = 0.41$$

Octubre

$$T_{\text{Oct-SE}} = 17.04 - 1.16 * (L) + 0.78 * (TSM_A - \text{OCTUBRE1+}) - 0.18 * (N_{PO})$$

$$R^2 = 0.43$$

Durante el verano, se encuentra que existe gran disparidad entre las tres subregiones en la bondad del ajuste realizado. Los mejores resultados se obtienen en las zonas noreste y sudeste, donde en ambos casos aparece, entre las variables de mayor importancia, la temperatura del océano Atlántico próximo ($TSM_A - \text{ENERO 1+}$) con coeficientes positivos indicando que la relación entre ambas variables es directa. Esto coincide con los resultados de Doyle (2001), que encuentra que cuando las anomalías térmicas del Atlántico en la región (20°S-30°S, 50°W-70°W) son positivas, se intensifica la advección térmica cálida desde el norte en Argentina subtropical mientras que cuando son negativas, la circulación predominante es desde el océano Atlántico y por lo tanto la advección será fría. En la región oeste, se encuentra que la nubosidad ingresa en el

modelo con signo tal que cuanto mayor es NUB_{15-0} , menor es la temperatura, coincidiendo con los resultados obtenidos en el Capítulo 2, en donde se analiza la relación entre la nubosidad y la temperatura.

El otoño presenta para las tres subregiones una buena proporción de varianza explicada exclusivamente por variables representativas de la circulación atmosférica (L y N) y de temperatura del mar (TSM_A y TSM_P). Al igual que lo que sucede durante el verano, el Atlántico próximo ($TSM_A - ABRIL\ 1+$) aparece como variable importante y con coeficientes positivos para las regiones noreste y sudeste repitiendo el esquema de circulación estival. En invierno aparece mayor diversidad de variables en los modelos obtenidos, pero en ninguna de las subregiones se incorpora la temperatura del océano Atlántico como variable de importancia en la determinación de la temperatura media mensual, lo cual es esperable ya que el escaso contraste térmico entre el continente y el océano no favorece el ingreso de aire marítimo. En esta época del año es importante número de pasajes de sistemas frontales, que aparece como variable significativa en las tres subregiones. En todos los casos los coeficientes que acompañan a las variables que representan el pasaje de perturbaciones son negativos, coincidiendo con los resultados obtenidos en el Capítulo 4.

Finalmente durante la primavera se encuentra que las variables que ingresan en los modelos de las tres subregiones son tanto indicadoras de la circulación atmosférica y de temperatura del mar como parámetros que modifican el balance radiativo (NUB y H). Sólo en la región sudeste se observa que la temperatura del océano Atlántico próximo es importante, situación semejante a lo que ocurre durante el verano mientras que no se incorporan en el modelo de esta subregión los factores radiativos.

6.6. Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método de correlación múltiple para la determinación de la temperatura media mensual correspondiente a enero, abril, julio y octubre en las tres subregiones definidas muestran que:

- *Existe disparidad en la bondad del ajuste entre las diferentes regiones. En general, la zona oeste es la que presenta la menor proporción de varianza explicada, probablemente debido a que no está regulada por la temperatura del mar del océano Atlántico.*

Las variables que se incorporan a los modelos son en general bastante dispares. Los resultados obtenidos se pueden resumir de la siguiente forma:

- *Para ninguno de los cuatro meses, las variables que ingresaron a los modelos de las regiones oeste y sudeste incluyen la humedad del suelo.*
- *La temperatura media mensual en la región sudeste está principalmente regida por forzantes cercanos como la temperatura del océano Atlántico y remotos como la temperatura del Pacífico y por parámetros de circulación (posición del viento máximo en 200 hPa y número de pasajes de perturbaciones en Santa Rosa y Paraná).*
- *La región noreste presenta contribuciones tanto por forzantes radiativos (nubosidad y humedad del suelo) y remotos como de variables de circulación.*

A nivel estacional se encuentra que:

- *Durante el verano, se obtienen buenos ajustes con los modelos obtenidos para las zonas noreste y sudeste, donde la temperatura del océano Atlántico próximo ($TSM_A - \text{ENERO } 1+$) aparece como variable importante, y confirma lo demostrado por Doyle (2001) que la temperatura de esta región determina el tipo de advección térmica sobre Argentina subtropical.*
- *Los modelos obtenidos para el otoño en las tres subregiones presentan una buena proporción de varianza explicada. Las variables incluidas en los modelos son exclusivamente representativas de la circulación atmosférica y de temperatura del mar. El Atlántico próximo ($TSM_A - \text{ABRIL } 1+$) aparece como variable importante y con coeficientes positivos para las regiones noreste y sudeste repitiendo el esquema de circulación estival.*
- *En invierno se encuentra la mayor diversidad de variables en los modelos obtenidos, pero en ninguna de las subregiones se incorpora la temperatura del océano Atlántico como variable de importancia probablemente debido a que el escaso contraste térmico continente-océano no favorece el ingreso de aire marítimo. En esta época del año es importante número de pasajes de*

perturbaciones (N) y en todos los casos los coeficientes que acompañan a estas variables son negativos, confirmando la relación inversa entre la temperatura y N obtenida en el Capítulo 4.

- *Durante la primavera se encuentra que las variables incluidas en los modelos son tanto indicadores de la circulación atmosférica y de temperatura del mar como parámetros radiativos. Al igual que lo que ocurre durante el verano, en la región sudeste se observa que la temperatura del océano Atlántico próximo es importante.*

Los resultados obtenidos para los diferentes meses y subregiones muestran que a partir de los factores analizados es posible explicar alrededor de la mitad de la varianza de la temperatura media mensual en Argentina subtropical. Es importante destacar que esta proporción de varianza explicada de la variabilidad de la temperatura media mensual se alcanza considerando exclusivamente los valores medios de distintas variables y que por lo tanto es posible que las componentes transientes, no consideradas en este análisis al ser utilizados sólo valores medios, sean en parte responsables de la variabilidad no explicada de la temperatura media mensual. Otras causas de la relativamente baja proporción de varianza explicada puede encontrarse en las limitaciones de algunos de los parámetros elegidos. Por ejemplo, en el Capítulo 3 se realizó una discusión acerca de la utilización del índice SPI y su bondad para representar la humedad del suelo. Asimismo, podría haber aspectos de las circulación atmosférica importantes no detectados por los índices de circulación utilizados. Otra limitación surge del método estadístico empleado. La regresión múltiple es una técnica que relaciona una variable dependiente con un conjunto de variables independientes. Esta condición de independencia es prácticamente imposible de cumplir cuando se consideran variables atmosféricas, pero es parcialmente subsanada al emplear el método de regresión Stepwise ya que no fuerza a las variables a ingresar al modelo y filtra las que están altamente correlacionadas entre sí.

De todos modos y pese a las limitaciones antes mencionadas, se considera que la explicación del 50% de la varianza de la temperatura media mensual a través de los campos medios de un conjunto de variables es un buen porcentaje teniendo en cuenta la complejidad de los factores actuantes.

CAPÍTULO 7

Conclusiones

El objetivo principal de esta Tesis es avanzar en el conocimiento de los factores que determinan la temperatura media mensual en Argentina subtropical a través del análisis de las relaciones de dicha variable con la nubosidad, la humedad del suelo, la temperatura de los océanos Atlántico y Pacífico y la circulación atmosférica. A través de este estudio se busca establecer en qué medida, desde el punto de vista estadístico, las relaciones físicas conocidas a nivel diario pueden ser transferidas a escalas temporales mayores.

De los antecedentes bibliográficos citados en el **Capítulo 1** surge que han habido cambios en la temperatura en el sur de Sudamérica por lo que, a modo de estudio preliminar, se realizó un análisis para detectar si los cambios observados en la temperatura se registraron con preferencia en alguna época del año. Con esta finalidad, se analizaron las variaciones interdecádicas de la temperatura en Argentina subtropical y se realizó una breve discusión acerca del significado de la temperatura media mensual. Los resultados obtenidos indican que:

La variación interdecádica de la temperatura en Argentina subtropical es diferente para las distintas épocas del año e indica que los procesos actuantes en la variación interanual de la temperatura pueden ser distintos para cada mes y para las diferentes subregiones.

A partir de la discusión del significado de la temperatura media mensual se observa que aparece una limitación: el valor de la temperatura media mensual no refleja la variabilidad diaria de la temperatura y por lo tanto algunos factores que la afectan en esa escala pueden no ser apreciados a nivel mensual. Esto es que dos meses pueden tener un

mismo promedio mensual pero el desvío estándar de los valores diarios es muy diferente a causa de la predominancia de distintos procesos en cada caso.

Finalmente, la temperatura media mensual está determinada a partir de los valores medios mensuales de las temperaturas mínima y máxima, y por lo tanto, dado que la variabilidad de las temperaturas extremas es diferente tanto espacial como temporalmente, es importante analizar estas dos variables de forma de comprender los factores que afectan cada una de ellas y esclarecer su contribución a la variabilidad de la temperatura media mensual.

En el **Capítulo 2** se analiza la relación entre las temperaturas mínima media, máxima media y media mensual y la nubosidad para un conjunto de estaciones en Argentina subtropical. Los resultados obtenidos para el análisis de la relación con las temperaturas mínima y máxima indican que:

La temperatura mínima media y la nubosidad se encuentran correlacionadas positivamente durante casi todos los meses del año y para la mayor parte de la región de estudio. La correlación es más débil durante el verano y más marcada y con mayor cobertura espacial durante el invierno probablemente debido a la predominancia de nubosidad estratiforme durante las primeras horas de la mañana de los días de invierno que impediría la pérdida de radiación de onda larga y por lo tanto el descenso marcado de la temperatura mínima.

La relación entre la temperatura máxima media y la nubosidad es inversa durante todos los meses del año demostrando que el efecto observado en escala diaria de que la nubosidad inhibe el aumento de la temperatura durante las horas diurnas también está presente en escala interanual. Esta asociación tiene una variabilidad espacial marcada, encontrándose las mayores correlaciones en los meses de verano.

La relación entre las temperaturas mínima y máxima y la nubosidad presenta una delimitación espacial y temporal complementaria. La

correlación entre la temperatura mínima y la nubosidad es positiva y significativa especialmente durante fines del otoño y comienzos del invierno en las regiones sur y este mientras que la correlación con la temperatura mínima es negativa y significativa principalmente durante el verano en las regiones oeste y norte.

Del estudio de la relación a nivel mensual entre la temperatura y la nubosidad se encuentra que:

Los campos de correlaciones entre la temperatura media y la cobertura nubosa tiene la particularidad de que el signo de la correlación es distinto según la época del año. Durante el semestre cálido (octubre a marzo) predominan las correlaciones negativas mientras que entre abril y septiembre dominan las correlaciones positivas. La relación inversa observada durante los meses cálidos se debería a que domina el efecto de la nubosidad previniendo la ocurrencia de temperaturas máximas elevadas mientras que la relación directa que se encuentra en el semestre frío estaría asociada al efecto de la nubosidad moderando las temperaturas mínimas.

Asimismo, se puede identificar la influencia de las temperaturas extremas en la determinación de la relación entre la temperatura media y la nubosidad a nivel mensual:

Se encuentra que durante el verano predomina el efecto de la temperatura máxima con una relación inversa entre ambas variables siendo significativa estadísticamente en la regiones norte y oeste mientras que durante fines del otoño y comienzo de invierno predomina el efecto de la temperatura mínima con una relación directa entre la temperatura media y la nubosidad en las regiones sur y este.

En el **Capítulo 3** se analiza la relación entre el contenido de humedad en el suelo a través del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y las temperaturas mínima, máxima y media en Argentina subtropical. Los resultados obtenidos muestran que:

Existen correlaciones débiles de signo positivo entre la humedad del suelo y la temperatura mínima y correlaciones más altas en valor absoluto y de signo contrario entre la humedad del suelo y la temperatura máxima.

La temperatura media muestra un comportamiento similar al de la máxima, principalmente durante el verano, reflejando que el efecto de la humedad del suelo sobre la temperatura media es una consecuencia de la utilización del calor disponible en el ambiente en el proceso de evaporación. En invierno no se encontraron correlaciones significativas indicando que la mayor o menor capacidad calorífica de los suelos debido a su mayor o menor contenido de humedad, no es un factor importante en la regulación la temperatura media.

Se realizó un análisis de la frecuencia mensual de días con precipitación para un conjunto de estaciones. Se encontró que:

Si bien existe una limitación en la utilización del índice SPI ya que para su cálculo sólo se consideran totales mensuales de precipitación y por lo tanto no distingue las características del régimen de precipitación, los resultados obtenidos acerca de la relación entre el contenido de humedad del suelo y la temperatura constituyen un primer indicio.

En el **Capítulo 4** se analiza la relación existente entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y la posición de los vientos máximos en 200 hPa y el número de pasajes de perturbaciones en Santa Rosa, Posadas y Paraná. Los resultados obtenidos muestran que:

Cuanto más al norte se encuentra la posición de los vientos zonales máximos en 200 hPa, menores son las temperaturas medias en la mayoría de las estaciones de la región analizadas. Durante los meses de invierno y primavera la correlación es mayor que para el trimestre de verano y los primeros meses del otoño así como el área donde

alcanza valores significativos. Las débiles correlaciones obtenidas para los meses estivales se deben a que la región está caracterizada por una marcada barotropía y los vientos máximos superiores se encuentran desplazados hacia la Patagonia.

Existe una correlación negativa entre el número de pasaje de perturbaciones (N) y la temperatura media que es mayor en valor absoluto en el otoño y comienzo del invierno en Posadas y Paraná y más irregular espacial y temporalmente en Santa Rosa. Estas correlaciones indican que la relación entre la temperatura media y N es tal que, a escala mensual, el mayor pasaje de perturbaciones está asociado a menores temperaturas.

Las mayores correlaciones se encuentran entre la temperatura media y N_{Posadas} debido a que las perturbaciones que pasan por Santa Rosa no siempre irrumpen hasta Posadas mientras que los que llegan a esa ciudad con seguridad previamente han afectado a la mayor parte de la región de estudio.

En el **Capítulo 5** se analiza la relación entre la temperatura del mar de los océanos Atlántico y Pacífico y la temperatura de superficie en Argentina subtropical a escala mensual. Los resultados obtenidos más relevantes obtenidos del análisis con el océano Atlántico son:

En los meses de verano, anomalías frías (cálidas) en Argentina subtropical están asociadas a anomalías cálidas (frías) en el Atlántico en la banda 20°S-30°S. Estos resultados se deberían a que anomalías negativas de T_{sup} podrían ser consecuencia del aumento de la precipitación y por ende de la nubosidad asociadas a un desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) como resultado de un calentamiento en el Atlántico hacia el sur de la ZCAS. Contrariamente, debido a la advección de calor desde el norte mostrada por Doyle (2001) cuando las anomalías de la temperatura del Atlántico en la banda 20°S-30°S son positivas, deberían registrarse mayores temperaturas medias en Argentina subtropical. La relación inversa obtenida entre T_{sup} y $TSM_{\text{Atlántico}}$

indica que es predominante la asociación, también inversa, entre T_{sup} en Argentina subtropical y la nubosidad durante los meses estivales obtenida en el Capítulo 2.

Durante el otoño se encuentra una relación directa entre T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ que se debería a que el flujo en superficie en Argentina subtropical durante esa época del año es predominantemente del este.

No se encuentran señales claras en la relación entre T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ durante el invierno. La región del Atlántico más relevante en esta época del año es la ecuatorial que muestra una relación inversa con la temperatura en la región noreste de Argentina subtropical.

Durante septiembre y octubre se observa, en general, una relación directa entre las anomalías de T_{sup} y $TSM_{Atlántico}$ para la región del Atlántico comprendida especialmente entre 20°S y 40°S que indica, al igual que lo que ocurre durante el otoño, el predominio de los efectos advectivos desde el mar. Las componentes de noviembre son sustancialmente diferentes a las de septiembre y octubre, presentando pequeñas zonas significativas de T_{sup} .

Del análisis de la relación entre la temperatura de superficie y la temperatura del océano Pacífico se encuentra que:

Los patrones correspondientes al verano, asociados a eventos El Niño/La Niña muestran una relación inversa entre la temperatura del mar del Pacífico tropical y la temperatura en el noreste de Argentina. Las anomalías negativas en la temperatura en el noreste de Argentina durante eventos cálidos se deberían al aumento de la nubosidad debido a la mayor precipitación.

En marzo y abril los patrones canónicos obtenidos muestran una relación directa entre las anomalías de temperatura en el Pacífico tropical y T_{sup} que se debería a la intensificación (debilitamiento) del

flujo del oeste en la tropósfera superior que tiene lugar durante estos meses de eventos cálidos (fríos) que inhibiría (favorecería) el ingreso de aire frío desde el sur.

En las componentes de otoño en las que no aparece el modo Niño/Niña, se observa que es significativa la región del Pacífico subtropical próximo a la costa sudamericana de forma que se encuentra una relación directa entre $TSM_{Pacífico}$ y T_{sup} . Esta relación podría deberse a que esa región del Pacífico es donde en general tienen origen los sistemas frontales que ingresan al continente sudamericano y por lo tanto su temperatura aparece condicionando la advección térmica.

Durante el invierno se observa una relación directa entre las anomalías de $TSM_{Pacífico}$ en la región ecuatorial y T_{sup} en Argentina subtropical de forma que eventos El Niño están asociados a anomalías cálidas de T_{sup} y eventos La Niña a anomalías frías. Esto se debería a la modificación de la circulación regional durante eventos cálidos (fríos) que implica una menor (mayor) frecuencia de irrupciones de frentes fríos y una mayor (menor) permanencia del aire cálido advechado desde el norte en Argentina subtropical.

Al igual de lo que sucede durante el otoño, en algunos de los meses de invierno aparece como significativa la región del Pacífico subtropical próxima a la costa sudamericana mostrando una relación directa entre las anomalías de T_{sup} y $TSM_{Pacífico}$. Esta relación se justificaría, de la misma forma que durante el otoño, debido a que es la región de donde provienen la mayor parte de los sistemas que llegan a Argentina subtropical durante el invierno.

Los patrones canónicos de primavera muestran una relación directa entre la temperatura del Pacífico ecuatorial y la temperatura en Argentina subtropical, confirmando la relación observada por Barros y Silvestri (2001) entre la temperatura del Pacífico tropical y la circulación: eventos cálidos (fríos) están asociados a una

intensificación (debilitamiento) de la advección de aire cálido y húmedo sobre el sudeste de Sudamérica. El Pacífico subtropical muestra una relación inversa con la temperatura en Argentina subtropical, con diferencias entre los distintos meses de la primavera pero que en general es significativa en la región este.

En el **Capítulo 6** se formula un modelo de estimación de la temperatura media mensual para tres subregiones de Argentina subtropical (oeste, noreste y sudeste) en función de la nubosidad, humedad del suelo, posición de los vientos máximos en 200 hPa, número de pasaje de perturbaciones y temperatura de la superficie del mar de los océanos Atlántico y Pacífico y pesando la importancia relativa de cada uno de ellos. El análisis fue realizado para cuatro meses, cada uno de los cuales es representativo de una estación: enero, abril, julio y octubre. Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método de regresión múltiple muestran que:

Existe disparidad en la bondad del ajuste entre las diferentes subregiones. En general, la zona oeste es la que presenta la menor proporción de varianza explicada.

Con respecto a las variables que se incorporan a los modelos, los resultados son en general bastante dispares y se pueden resumir de la siguiente forma:

Para ninguno de los cuatro meses, las variables que ingresaron a los modelos de las regiones oeste y sudeste incluyen la humedad del suelo.

La temperatura media mensual en la región sudeste está principalmente regida por forzantes remotos como la temperatura de los océanos Atlántico y Pacífico y por parámetros de circulación (posición del viento máximo en 200 hPa y número de pasajes perturbaciones en Santa Rosa y Paraná).

La región noreste presenta contribuciones tanto por forzantes radiativos (nubosidad y humedad del suelo) y remotos como de variables de circulación.

Finalmente, si se realiza una comparación entre las diferentes subregiones a nivel estacional se encuentra que:

Durante el verano, se obtienen buenos ajustes con los modelos obtenidos para las zonas noreste y sudeste, donde la temperatura del océano Atlántico próximo aparece como variable importante indicando la relevancia de la componente monzónica en la determinación de la temperatura estival en Argentina subtropical.

Los modelos obtenidos para el otoño en las tres subregiones presentan una buena proporción de varianza explicada. Las variables incluidas en los modelos son exclusivamente representativas de la circulación atmosférica y de temperatura del mar.

En invierno se encuentra la mayor diversidad de variables en los modelos obtenidos, pero en ninguna de las subregiones se incorpora la temperatura del océano Atlántico como variable de importancia.

Durante la primavera se encuentra que las variables incluidas en los modelos son tanto indicadoras de la circulación atmosférica y de temperatura del mar como parámetros radiativos. Al igual que lo que ocurre durante el verano, en las regiones noreste y sudeste se observa que la temperatura del océano Atlántico próximo es importante.

El interés creciente en el pronóstico a largo plazo de la temperatura media mensual, alentado principalmente por la importancia que reviste esta variable para el comportamiento del mercado energético, ha resultado en la necesidad de analizar en profundidad los distintos factores que la determinan. Los resultados obtenidos a lo largo de los diferentes capítulos permitieron establecer relaciones importantes, a nivel mensual, entre la temperatura media mensual en Argentina subtropical y un conjunto de variables como la nubosidad, humedad del suelo, posición de los vientos máximos en 200 hPa, número de pasaje de frentes y temperatura de la superficie del mar de los océanos Atlántico y Pacífico. Si bien estos factores no alcanzan para explicar la totalidad de la

variabilidad de la temperatura media mensual en la región, se ha demostrado que según la época del año y la subregión, la varianza explicada por los factores analizados puede superar el 50%.

Finalmente, a través de este estudio de diagnóstico ha quedado demostrado que la temperatura media mensual en Argentina subtropical depende un conjunto de factores que varían según la época del año y la subregión considerada. Además, ninguno de estos factores es capaz de explicar individualmente la variabilidad interanual de la temperatura indicando la complejidad del pronóstico climático de la temperatura mensual en la región.



Dr. Vicente Barros

Director



Lic. Rubén A. Bejarán

Doctorando

REFERENCIAS

ACEITUNO, P. 1988. **On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: surface climate.** Mon.Wea. Rev.116, 505-524.

ALESSANDRO, P. 1998. **Contribuciones al estudio de la climatología sinóptica en la Argentina.** Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires.

BARNETT, T. and PREISENDORFER, R. 1987. **Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States surface air temperatures determined by canonical correlation analysis.** Mon.Wea.Rev. 115, 1825-1850.

BARNSTON, A. and ROPELEWSKI, C. 1992. **Prediction of ENSO episodes using canonical correlation analysis.** J. Climate 5, 1316-1345.

BARROS, V. and SILVESTRI, G. 2001. **On the relation between sea surface temperature at the subtropical south-central Pacific and precipitation in southeastern South America.** J. Climate (in press).

BARROS, V.; GRIMM, A. and DOYLE, M. 2000a. **Influence of El Niño and La Niña events on temperature in southern South America.** Preprints de la Sixth Southern Hemisphere Conference on Meteorology & Oceanography, AMS. Santiago de Chile, 79-80.

BARROS, V.; GONZALEZ, M.; LIEBMANN, B. and CAMILLONI, I. 2000b. **Influence of the South Atlantic Convergence Zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America.** Theoretical and Applied Climatology 67, 123-133.

BERTOLOTTI, M.; ESCOBAR, G. y BEJARÁN, R. 2001. **Anomalías de temperatura en la región central de Argentina durante julio de 2000 y su relación con el consumo**

de gas natural en la ciudad de Buenos Aires. Anales del IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y VII Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires, 9 pp (CD-ROM).

BROOKS, C. and CARRUTHERS, N. 1953. **Handbook of statistical methods in Meteorology.** Meteorological Office, London, 412 pp.

CAMILLONI, I. y BARROS, V. 1995. **Influencia de la isla urbana de calor en las tendencias seculares de la temperatura en Argentina subtropical.** Geofísica Internacional 34, 2, 161-170.

CHU, P-S. 1998. **Short-term climate prediction of MEI/YU rainfall for Taiwan using canonical correlation analysis.** Int.J.Climatol. 18, 215-224.

CHU, P-S. and HE, Y. 1994. **Long-range prediction of Hawaiian winter rainfall using canonical correlation analysis.** Int.J.Climatol. 14, 659-669.

DAI, A.; TRENBERTH, K. and KARL, T.R. 1999. **Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor on diurnal temperature range.** J. Climate 12, 2451-2473

DÍAZ, A.; STUDZINSKI, C. and MECHOSO, C. 1998. **Relationship between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans.** J.Climate 11, 251-271.

DOYLE, M.E. 1994. **Los máximos de viento en 200 hPa y 300 hPa en Sudamérica y Atlántico adyacente.** Tesis de Licenciatura. Universidad de Buenos Aires.

DOYLE, M.E. 2001. **Algunos factores que determinan la climatología de la precipitación estival en Argentina Subtropical.** Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires

DRAPER, N. and SMITH, H. 1966. **Applied regression analysis.** John Wiley & Sons, New York.

FEDEROVA, N. 1999. **Meteorologia Sinotica. Volumen 1.** Editora e Gráfica Universitária – UFPel. 260 pp

FIGUEROA, S.N., SATYAMURTY P. and SILVA DIAS, P.L., 1995. **Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model.** J.Atmos.Sci. 52, 1573-1584.

FORTE LAY, J.; QUINTELA, R.; TROHA, A. y SUAREZ, S. 1984. **Características bioclimáticas de las regiones subhúmedo-secas y semiáridas de la llanura y bosque pampeanos centrales.** VIII Reunión Nacional para el Estudio de las Regiones Áridas y Semiáridas, Trelew, 38 pp.

GIL, S. 1999. **Modelo de predicción de consumo de gas natural en la República Argentina.** Petrotecnia XL 3, Sup. Tech. 1.

GRIMM, A.; BARROS, V. and DOYLE, M. 2000. **Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events.** J.Climate 1, 35-58.

HALPERT, M. and ROPELEWSKI, C. 1992. **Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation.** J.Climate 2, 1069-1090.

HEWSON, E. and LONGLEY, R. 1944. **Meteorology theoretical and applied.** John Wiley & Sons, 468 pp.

HOFFMAN, J. 1990. **De las variaciones de la temperatura del aire en la Argentina y estaciones de la zona subantártica adyacente desde 1903 hasta 1989 inclusive.** Meteorologica 17, 11-16.

HOFFMANN, J., NUÑEZ, S. y VARGAS, W. 1997. **Temperature, humidity and precipitation variations in Argentina and the adjacent sub-antarctic region during the present century.** Meteorolol. Zeitschrift, N.F, 6, 3-11.

HORDIJ, J.H. y BORDON, S. 1987. **Localización de las corrientes en chorro en relación con los frentes en superficie en América del Sur.** Anales del II congreso Interamericano de Meteorología, 6.11.1-6.11.5

JENKINS,G. and WATTS,D. 1969. **Spectral analisys and its applications**. Holden-Day series in time series analysis, 2da edicion. Cambridge. 524 pp.

JONES, P.D., 1994. **Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993**. J. Climate 7, 1794-1802.

KALNAY, E. y otros, 1996. **The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project**. Bull. Amer. Meteor. Soc. 77, 437-471.

LIMA, L.; ERMIDA, C. and SATYAMURTY, E.P. 1991. **Un estudo observacional da formacao e trayectorias de anticiclones extratropicais na America do Sul**. Tesis de Maestrado – IMPE 5387- TDI/476, S. Jose dos Campos, dezembro de 1991.

MANABE, S. and STRICKLER, R. 1964. **Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity**. J. Atmos. Sci. 21, 361-385.

McKEE, T., DOESKEN, N. and KLEIST, J. 1993. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. Preprints 8th Conference Applied Climatology, 179-184.

MINETTI, J. y VARGAS, W. 1983. **Fluctuaciones de la temperatura media en Sudamérica y hemisferio sur en el período 1941-60**. Meteorológica XIV, 225-235.

MONTECINOS, A.; DÍAZ, A and ACEITUNO, P. 2000. **Seasonal diagnostic and predictability of rainfall in Subtropical South America based on Tropical Pacific SST**. J. Climate 13, 746-758.

NOGUES-PAEGLE, J. and MO, K.C. 1997. **Alternating wet and dry conditions over South America during summer**. Mon.Wea.Rev. 125, 279-291.

PALMER,W. 1965. **Meteorological drought**. U.S. Weather Bureau Res. Paper 45 , 58 pp.

PARKER, D.E., FOLLAND, C.K. and JACKSON, M., 1995. **Marine surface temperature: observed variations and data requirements**. Climatic Change 31, 559-600.

- PEZZA, A.B. y AMBRIZZI, T. 2001. **Propagacao de ondas de frio na America do Sul e as trayectorias dos ciclones e anticiclones extratropicais: um estudo climatologico.** Anales del VIII Congreso Argentino de Meteorología y IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de meteorología. Mayo 2001
- PITTOCK, A.B. 1980. **Patterns of climatic variation in Argentina and Chile-II. Temperature, 1931-60.** Mon.Wea.Rev. 108, 1362-1369.
- RAYNER, N.A.; HORTON, E.B.; PARKER, D.E.; FOLLAND, C.K. and HACKETT, R.B. 1996. **A version 2.2 of the global sea-ice and sea surface temperature data set, 1903-1994.** Hadley Centre for Climate Prediction and Research. Climate Research Tech. Note 74, 42 pp.
- RICHMANN, M B. 1986. **Rotation of principal components.** J. Climatol. 6, 293-335.
- ROSENBLÜTH, B.; FUENZALIDA, H. and Aceituno, P. 1997. **Recent temperature variations in southern South America.** Int. J. Climatol., 17, 67-85.
- RUSTICUCCI, M. and PENALBA, O. 2000. **Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature.** Climate Research 16, 1-15.
- SATYAMURTY, P. and RAO, V.B. 1988. **Zona de convergencia do Atlantico Sul.** Climanalise 3, 31-35.
- SCIAN, B. 1997. **Comparación entre el Indice de Precipitación estandarizado y otros índices hidrológicos para la región pampeana.** Meteorológica 22, 41-52.
- SCIAN, B. and DONNARI, M. 1997. **Retrospective analysis of the Palmer drought severity index in the semi-arid Pampas region, Argentina,** Int. J. Climat. 17, 313-322.
- SHUKLA, J. and MINTZ, Y. 1981. **Influence of land-surface evapotranspiration on the earth's climate.** Science 215, 1498-501.

TRENBERTH, K; HOUGHTON, J. and MEIRA FILHO, L. 1996. **The climate system: An overview**. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Cambridge University Press, 51-64.