

## LAS MASAS DE AIRE QUE AFECTAN EL SUR DE LA PROVINCIA DE SANTA FE Y SU RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DIARIA EN ENERO

Alejandra S. Coronel<sup>1</sup> y María E. Castañeda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Cs. Agrarias – UNR

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEN.UBA

(Manuscrito recibido el 14 de abril de 2010, en su versión final el 29 de octubre de 2010)

### RESUMEN

El objetivo del trabajo es identificar las masas de aire que afectan el sur de Santa Fe durante los eneros de 1998-2006 y relacionarlas con la precipitación diaria, tomando como estación representativa a Zavalla (33°01'S, 60°53'O). La información diaria analizada es: temperaturas media, máxima y mínima, humedad relativa, heliofania efectiva, presión atmosférica, precipitación y dirección de viento a las 8 y 14 horas local, campos de altura geopotencial en 1000 y 500 hPa, de temperatura en 1000 hPa y de humedad específica en 850 hPa del NCEP. Se aplica el algoritmo K-means y se identifican cuatro tipos de masas de aire: Cálida Seca (mCS): muy cálida; Cálida Húmeda (mCH): aumenta significativamente la humedad y la nubosidad respecto a mCS; Templada Seca (mTS): menores temperaturas mínimas; Templada Húmeda (mTH): muy húmeda, y bajas amplitudes térmicas diarias, asociada a condiciones previas al pasaje de frentes fríos. El 50% de días lluviosos ocurren durante mCH y el 32% con mTH, y el 93% de las más intensas acontecen durante el predominio de dichas masas. Las mTH tienen mayor eficiencia en la ocurrencia de precipitación pues en el 50% de los casos precipita, y para las mCH solo en el 27%.

*Palabras claves:* masas de aire, retro trayectorias, precipitaciones diarias, enero

### CLASSIFICATION OF AIR MASSES THAT AFFECT THE SOUTH OF SANTA FE, THEIR TRAJECTORIES AND THE RELATIONSHIP BETWEEN THEM TO THE DAILY PRECIPITATION IN JANUARY

#### ABSTRACT

The aim of this work is to identify the air masses that affect the south of Santa Fe in January during 1998-2006 and to relate it to the daily precipitation, in Zavalla (33°01'S, 60°53'O). The analyzed daily information is: mean, maximum and minimum temperature, relative humidity, effective insolation, atmospheric pressure, precipitation and wind direction of the 8 and 14 hours. The fields of circulation and temperature in 1000 and 500 hPa, and specific humidity in 850 hPa, are calculated using NCEP Reanalysis data. Analysis of cluster k-means is applied and it determines four types of air masses: Warm Drought: a very warm air mass; Warm Humid: it increases the humidity and cloudiness, Moderate Dry: air mass with the smallest minimum temperatures; Moderate Humid: very

humid air mass, daily losses thermal amplitude, associated to the previous conditions to the passage of cold fronts. The 50% of the precipitation days happen during Warm Humid masses and the 32% with Moderate Humid, and 93% of the most intense occurs during these masses. Moderate Humid have major efficiency in the precipitation occurrence because in 50% of the cases precipitates, and for Warm Humid only in 27%.

*Key words:* air masses, backward trajectory, daily rainfall, January

## 1. INTRODUCCIÓN

El método de clasificación de masas de aire se basa en las similitudes de las características higrótérmicas del aire, siendo concebible que los campos de presión y viento puedan variar a lo largo del tiempo dentro de la masa de aire.

La homogeneidad termodinámica de las masas de aire permite asociarlas a estudios de problemas bioambientales, como ser la relación entre la salud humana y los diferentes tipos de masas de aire (Greene y Kalkstein 1996; Kalkstein y Greene 1997; Jamason y otros 1997; McGregor y otros 1999; Tan y otros 2004), la variación en la cantidad de ozono en la atmósfera (Adame y Solé 2008), los cambios en la magnitud del CO<sub>2</sub> (Aalto y otros 2003), entre otros temas.

También se ha analizado la variación en la frecuencia de las masas de aire a largo plazo con el fin de establecer relaciones con el cambio climático (Kalkstein y otros 1990, 1998; Fealy y Sweeney 2007). En cuanto a nuestro país, Bejarán y Camilloni (2003) clasificaron a través de la aplicación de un método objetivo las masas de aire en relación con la intensidad de la isla urbana de calor en Buenos Aires, en invierno.

El área de estudio, Pampa Húmeda, constituye la región agropecuaria más competitiva de Argentina y según Bartolomé y otros (2004) los principales factores de riesgo productivo son en orden de prioridad: la incertidumbre e inestabilidad económica y política, los mercados internacionales y política internacional, el clima, plagas y enfermedades, y otros. En cuanto a los principales riesgos climáticos se destacan: granizo, inundación y sequía.

Estos riesgos climáticos son consecuencia de las modificaciones en los patrones de circulación y en las masas de aire que afectan la región.

En la región del sur de Santa Fe durante el verano se observan las precipitaciones máximas, en particular en los meses de enero y febrero (Sacchi

y otros 2002). Dado que las temperaturas más extremas ocurren en enero, se toma como mes de análisis el primer mes del año.

Este trabajo tiene como objetivo identificar las masas de aire que afectan el sur de Santa Fe en enero durante 1998-2006 y relacionarlas con la precipitación diaria, tomando como estación agrometeorológica representativa a Zavalla (33°01'S, 60°53'O). Además se analizan las retro trayectorias obtenidas a partir del modelo Hysplit (NOAA 2010) para dos años de la serie: 2003 y 2005.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La información meteorológica: temperatura media ( $t_{med}$ , °C), máxima ( $t_{máx}$ , °C) y mínima ( $t_{mín}$ , °C), humedad relativa media ( $HR_m$ , %), heliofanía efectiva ( $H_{ef}$ , horas), presión atmosférica media ( $p_{atm}$ , hPa), precipitación diaria (pp, mm); y dirección de viento a las 08 hora local (uu8, vv8), y 14 hora local (uu14, vv14) para todos los eneros del período 1998-2006 pertenece a la estación agrometeorológica Zavalla (33°01'S, 60°53'O). El viento se estudió en las 8 direcciones principales y en condiciones de calma (siendo  $uu > 0$  vientos provenientes del oeste y  $vv > 0$  vientos del sur), y como no se mide la intensidad en cada hora se tomó por convención un valor igual a 1. Para este trabajo se ha considerado ocurrencia de precipitación cuando el valor de esta magnitud es igual o mayor a 0,2 mm.

A los datos meteorológicos se les aplicó un análisis de cluster K-means (Spath 1980). Este es un método de agrupamiento de casos que se basa en las distancias existentes entre ellos dado un conjunto de variables. El análisis de clusters de K-means es útil cuando se dispone de un gran número de casos. Se puede utilizar la técnica de manera exploratoria, clasificando los casos e iterando para encontrar la ubicación de los *centroides* o centros de los clusters, o sólo como técnica de

clasificación, clasificando los casos a partir de *centroides* conocidos suministrados por el usuario. En este trabajo se utilizó el primer criterio para la clasificación de las masas de aire.

Para cada tipo de masa de aire identificado a partir de este método multivariado se determinaron los valores medios, las desviaciones estándares y las anomalías de las variables analizadas y se tomaron también la temperatura de punto de rocío ( $t_d$ , °C) y el déficit de saturación ( $ds$ , hPa). Las anomalías fueron calculadas como la diferencia entre el valor medio para cada tipo de masa de aire menos el promedio de la variable para todos los años de 1998-2006. A fin de identificar si las categorías de masas de aire encontradas son estadísticamente diferentes se aplicó el test *t* de Student al 5% a cada variable, para todas las posibles combinaciones de pares de diferentes tipos de masas de aire.

Se complementó el estudio con la base de datos del reanálisis del NCEP, provista por el NOAA Climate Diagnostic Center (Kalnay y otros 1996), utilizando los campos de altura geopotencial en 1000 y 500 hPa, de temperatura en 1000 hPa y de humedad específica ( $q$ , kg/kg) en 850 hPa, en un enrejado de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  de latitud y longitud en el período 1998-2006. Dado que una misma masa de aire puede persistir por varios días, el análisis se estableció para el primer día de la secuencia y con el objeto de garantizar la independencia entre dos fechas consecutivas se eligieron a las mismas separadas al menos cuatro días entre sí (Coronel y otros 2006). Para estas fechas sobre el dominio de estudio de  $20^\circ\text{S}$  a  $60^\circ\text{S}$  de latitud y desde  $40^\circ\text{O}$  a  $100^\circ\text{O}$  de longitud se calcularon los campos medios de altura geopotencial en 1000 y 500 hPa y los de anomalías de altura geopotencial en 500 hPa, de temperatura en 1000 hPa y de humedad específica en 850 hPa. Las anomalías diarias se determinaron como la diferencia entre el valor de la variable para cada día y cada punto de grilla y el valor promedio para el período 1968-1996.

Se relacionaron las masas de aire con la precipitación diaria ocurrida en la localidad analizada a través de tablas de contingencia.

Un análisis preliminar de las retrorayectorias de 216 horas (9 días) y con paso de tiempo de 6 horas de los diferentes tipos de masas de aire obtenidas, se han simulado utilizando el modelo HYSPLIT\_4.9 (Hybrid Single-Particle Lagrangian

Integrated Trajectory, Version 4.9) (Draxler y Hess 1997, 1998). El modelo Hysplit 4.9 ha sido desarrollado por el Air Resources Laboratory (ARL) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y es un sistema completo para el cómputo de trayectorias a partir de datos meteorológicos en puntos de grilla provenientes de cualquier análisis o pronóstico a corto plazo derivados de modelos numéricos de predicción meteorológica. Se seleccionó el conjunto de datos FNL - Hemisferio Sur (SH) como input meteorológico, pues ofrece campos meteorológicos con una resolución horizontal de 190,5 kilómetros en la latitud de  $60^\circ$  a las 00:00, 06:00, 12:00 y las 18:00 UTC (Stunder 1997). Se seleccionaron los años de 2003 y 2005, pues durante ellos ocurrieron las precipitaciones máximas (232,4 mm. en el 2005) y mínimas (40,4 mm. en el 2003), dentro del período de análisis

### 3. RESULTADOS

Tras experimentar con diversos números de clusters, se determinó que con cuatro agrupamientos se logra representar las principales masas de aire con características atmosféricas asociadas a estados de tiempo particulares. Las masas identificadas son (Tabla I): Cálida Seca (mCS): una masa de aire muy cálida con nubosidad, humedad y presión inferior a lo normal, y vientos predominantes del N y NE; Cálida Húmeda (mCH): difiere de la anterior en que aumenta significativamente la humedad y la nubosidad, las temperaturas son levemente inferiores y aumenta el porcentaje de vientos del sector E; Templada Seca (mTS): masa de aire con las menores temperaturas mínimas, presión mayor a lo normal, baja nubosidad y humedad, y vientos del sector NE, E, y SE; y Templada Húmeda (mTH): masa de aire muy húmeda con alta nubosidad, baja presión y bajas amplitudes térmicas diarias, con vientos predominantes del SE y S.

En la Tabla II se observa que entre dos tipos diferentes de masas de aire detectadas en este trabajo, al menos cuatro variables presentan diferencias significativas al 5%. Cabe destacar que la  $t_{med}$  y la  $HR_m$  evidencian en todos los casos significancia estadística. Dado que  $HR_m$  y  $ds$  indican la demanda de evaporación y de

transpiración de la atmósfera, que las masas de aire presenten diferencias significativas en estas variables es fundamental en los estudios que relacionan las masas de aire con cuestiones agrícolas y ecológicas.

Al clasificar cada día analizado dentro de una categoría de masa de aire se encuentra un 24% de mCS, un 40% de mCH, un 23% de mTS y un 13% de mTH, para los eneros analizados.

	Cálida Seca			Cálida Húmeda			Templada Seca			Templada Húmeda		
	medi	desvío	anom	medi	desvío	anom	medi	desvío	anom	medi	desvío	anom
tmax (°C)	34,4	2,0	4,5	30,6	1,6	0,7	26,7	2,3	-3,2	26,2	2,7	-3,7
tmin (°C)	19,5	2,5	2,1	18,2	1,8	0,9	13,1	1,8	-4,3	18,3	2,0	1,0
tmed (°C)	27,1	1,8	3,4	24,3	1,1	0,6	20,4	1,6	-3,3	21,8	1,9	-1,9
Hef (hs)	11,2	2,0	1,6	9,8	2,9	0,2	11,5	2,2	1,9	3,0	2,3	-6,6
HRm (%)	70,7	7,7	-7,6	80,9	5,8	2,6	74,8	5,3	-3,5	90,1	4,5	11,8
td (°C)	20,5	2,5	1,3	20,4	1,6	1,2	15,1	2,0	-4,0	20,0	1,9	0,9
ds (hPa)	13,4	4,3	5,3	7,0	2,2	-1,1	7,5	1,8	-0,6	3,0	1,4	-5,1
vv8	-0,5	0,6		-0,1	0,6		0,0	0,6		0,3	0,5	
uu8	-0,2	0,5		-0,3	0,5		-0,2	0,5		-0,4	0,5	
vv14	-0,4	0,5		-0,1	0,7		0,0	0,6		0,1	0,6	
uu14	-0,1	0,5		-0,2	0,5		-0,3	0,5		-0,2	0,5	
patm (hPa)	1004,3	4,0	-1,3	1004,3	3,6	-1,3	1009,9	3,6	4,3	1005,5	3,5	-0,1

Tabla I: Valores medios (media), desvíos estándar (desvío) y anomalías (anom.) de las variables que caracterizan a las cuatro categorías de masas de aire.

	mCS - mCH	mTS - mTH	mCS - mTS	mCS - mTH	mCH - mTS	mCH - mTH
tmax (°C)	*		*	*	*	*
tmin (°C)	*	*	*	*	*	
tmed (°C)	*	*	*	*	*	*
Hef (hs)	*	*		*	*	*
HRm (%)	*	*	*	*	*	*
td (°C)		*	*		*	
ds (hPa)	*	*	*	*		*
patm (hPa)		*	*		*	

Tabla II: \*: Diferencias significativas al 5% para cada variable analizada, entre todos los posibles pares de diferentes tipos de masas de aire.

El análisis de la precipitación diaria del mes de enero del período 1998-2006 evidencia que en el 22% de los días (60 días de los 277 analizados) ocurrieron precipitaciones cuya cantidad diaria oscila entre 0,2 mm. y 98,5 mm. (Figura 1).

Al relacionar la ocurrencia de precipitación diaria con el tipo de masa de aire clasificada para ese día (Tabla III), se determinó que el 50% de los días lluviosos ocurrieron durante mCH y el 32% con mTH, y el 93% de las más intensas (dentro del último cuartil: superiores a 22,4 mm) acontecen durante dichas masas. Sin embargo, un análisis de las categorías por separado, muestra que las mTH tienen mayor eficiencia en la ocurrencia de precipitación pues en el 50% de los días clasificados dentro de esta categoría de masas de aire ocurren precipitaciones, y para las mCH sólo en el 27% de los días (Tabla III).

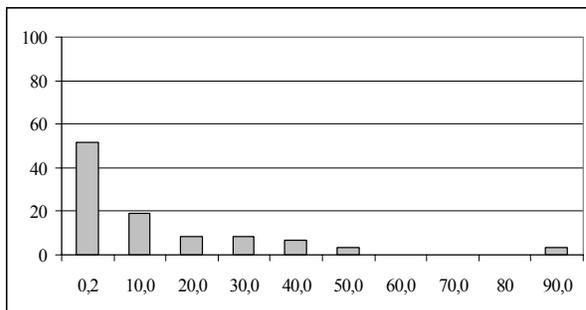


Figura 1: Distribución de frecuencias porcentuales de la cantidad de precipitación diaria durante los eneros de 1998 a 2006. El valor que figura en cada intervalo corresponde al límite inferior del mismo.

	Día con pp	Día sin pp
<b>mCS</b>	8	58
<b>mCH</b>	30	81
<b>mTS</b>	3	60
<b>mTH</b>	19	18

Tabla III: Tabla de contingencia entre la ocurrencia de días con o sin precipitación y el tipo de masa de aire. Se presentan las frecuencias absolutas.

Con el fin de profundizar el análisis de la relación entre las precipitaciones y las masas de aire se elaboró una tipificación sinóptica de los distintos tipos de masas de aire encontrados a partir del análisis de los campos medios de circulación de

1000 y 500 hPa, de las anomalías de temperatura de 1000 hPa, de humedad específica de 850 hPa y altura geopotencial de 500 hPa (Figuras 2 a 21). De los resultados se infiere que en presencia de mCS se detecta una fuerte advección de aire cálido que provoca anomalías positivas de temperatura en el centro del país. En cuanto a los casos de mCH, también se evidencia una advección de aire cálido, pero las anomalías positivas de temperatura son de menor magnitud. Los campos de 1000 hPa asociados a mCS y mCH son bastante similares, al igual que el campo de anomalías de temperatura. Sin embargo sí se observan diferencias en el campo de 500 hPa y en sus anomalías. Si bien la zona analizada se encuentra dentro de la parte delantera de cuña en ambas masas de aire, para las mCS los campos de anomalías muestran un dipolo más definido e intenso con anomalías positivas sobre la zona centro del país y negativas sobre la patagonia. Este patrón sinóptico es inhibitorio de la precipitación, ya que la presencia de cuñas o anticiclones en la tropósfera media y superior impiden la formación de nubes y lluvia (Celemín, 1984). Por otro lado, aunque la región puede estar afectada por masas cálidas y húmedas (mCH), la presencia de la cuña en 500 hPa, aunque menos definida que para mCS, explicaría la menor eficiencia de precipitación para este tipo de masas de aire.

Los campos de altura geopotencial de 1000 hPa asociados a las masas mTS estarían relacionados a frentes fríos localizados al norte de Zavalla y a la entrada de un sistema de alta presión que producen anomalías térmicas negativas en toda la zona centro y norte del país.

Por último las mTH se presentarían con la ocurrencia del pasaje de un frente frío y con anomalías térmicas positivas al norte de 35°S y negativas al sur de dicha latitud. Los campos de 500 hPa asociados a estas masas de aire no presentan un flujo tan zonal como en el caso de mCS y mCH, sino que evidencian un flujo SO – NE sobre la patagonia en el caso de mTH, llegando hasta la zona de estudio para mTS. El sur de Santa Fe se encuentra en la parte delantera de vaguada para las masas mTH y en la parte delantera de cuña para mTS, lo cual es congruente con la menor ocurrencia de precipitación para estas últimas.

En cuanto a los campos de anomalías de humedad específica en 850 hPa, para las masas mCS se

observa que la latitud de Zavalla divide al país en dos regiones, una con anomalías negativas al norte y otra con anomalías positivas al sur. En cambio en las masas secas pero más templadas, mTS, se determina una zona con anomalías negativas entre los 30 y los 45°S, acorde al campo medio de 1000 hPa encontrado.

Las masas más húmedas, mCH y mTH, muestran sobre la zona de estudio un centro de anomalías de humedad específica positivas, pero es más intenso y extendido hacia el norte en las masas mTH.

Las precipitaciones en el sur de Santa Fe se deben principalmente al pasaje de frentes fríos, estacionarios o cálidos y/o a la convección producida por el calentamiento del suelo. Durante el verano, la ocurrencia de frentes fríos, estacionarios y cálidos se ve reducida en comparación con el invierno y la primavera. Sin embargo, las elevadas temperaturas combinadas

con masas de aire húmedas son suficientes para provocar lluvias típicas de verano. Estas lluvias son conocidas como *tormentas de masas de aire* que, generalmente, no presentan un forzante dinámico, es decir que precipita sin la presencia de frentes. De acuerdo a lo analizado las precipitaciones asociadas a las masas mCH estarían relacionadas a *tormentas de masas de aire* o a *frentes cálidos*, debido a la advección de aire cálido, al importante contenido de humedad y a la presión inferior a lo normal. Sin embargo para determinar la presencia de frentes calientes se debe hacer un estudio sinóptico con mayor profundidad que excede a los objetivos del presente trabajo.

Por otro lado, las precipitaciones ocurridas durante las masas mTH evidencian la componente dinámica de las lluvias, debido a su asociación con *frentes fríos*.

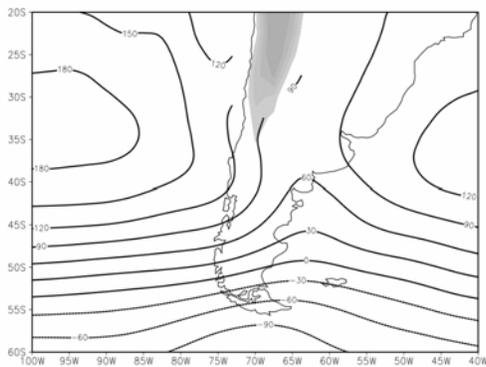


Figura 2: Campo medio de altura geopotencial de 1000 hPa (mGP) asociado a mCS

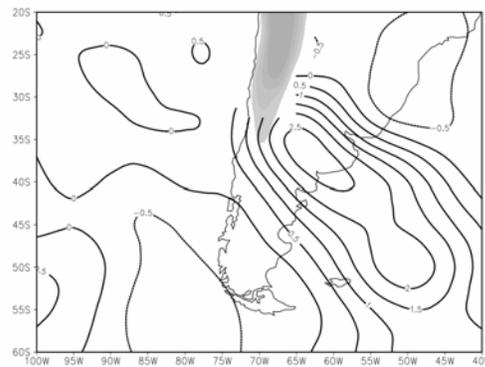


Figura 3: Campo medio de anomalías de temperatura en 1000 hPa (°C) asociado a mCS

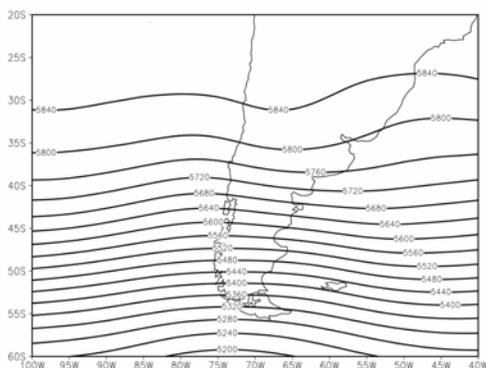


Figura 4: Campo medio de altura geopotencial de 500 hPa (mGP) asociado a mCS

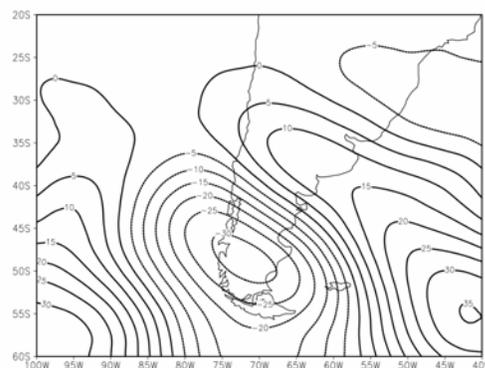


Figura 5: Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 500 hPa (mGP) asociado a mCS

Las masas de aire que afectan el sur de la provincia...

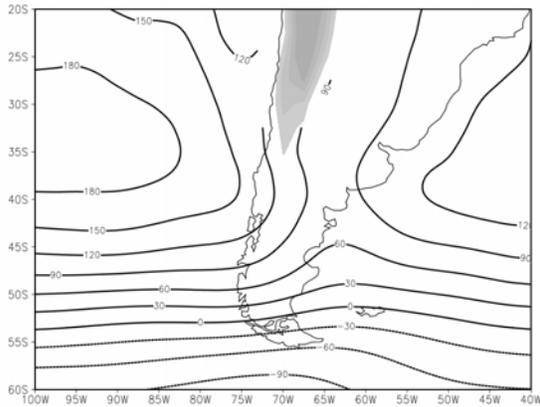


Figura 6: Campo medio de altura geopotencial de 1000 hPa (m) asociado a mCH

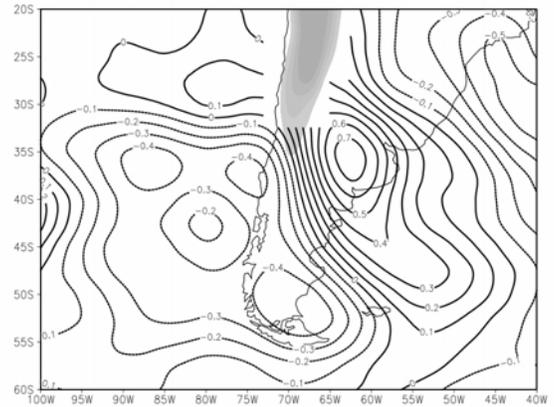


Figura 7: Campo medio de anomalías de temperatura en 1000 hPa (°C) asociado a mCH

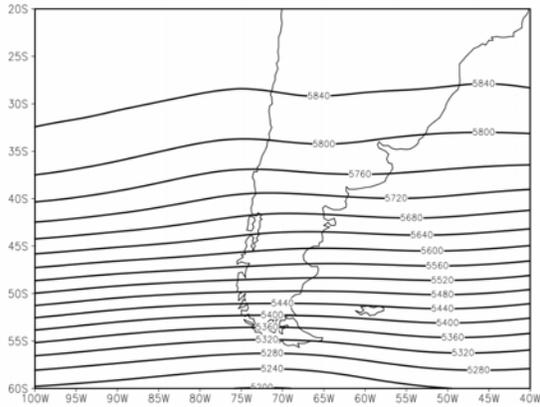


Figura 8: Campo medio de altura geopotencial de 500 hPa (m) asociado a mCH

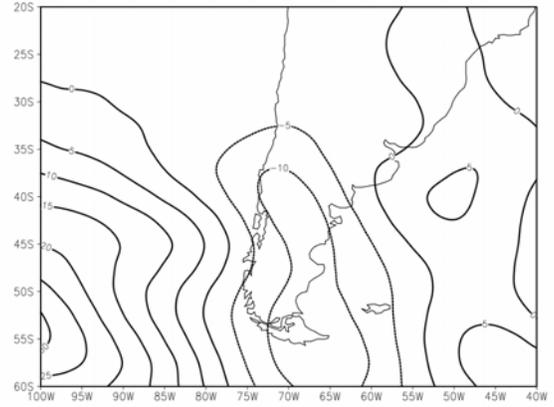


Figura 9: Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 500 hPa (m) asociado a mCH

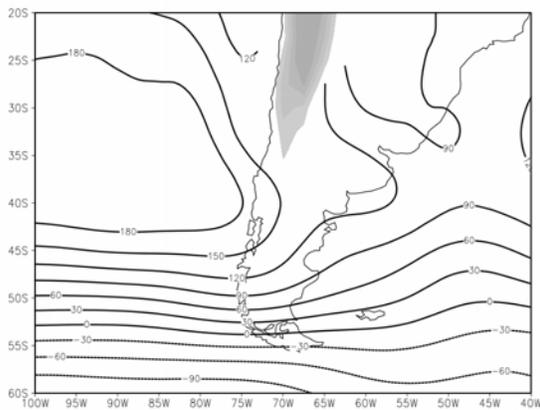


Figura 10: Campo medio de altura geopotencial de 1000 hPa (m) asociado a mTS

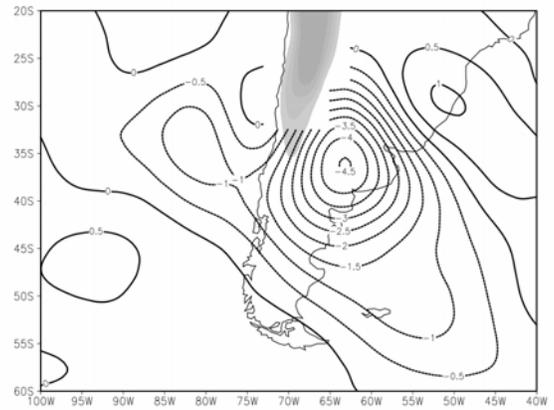


Figura 11: Campo medio de anomalías de temperatura en 1000 hPa (°C) asociado a mTS

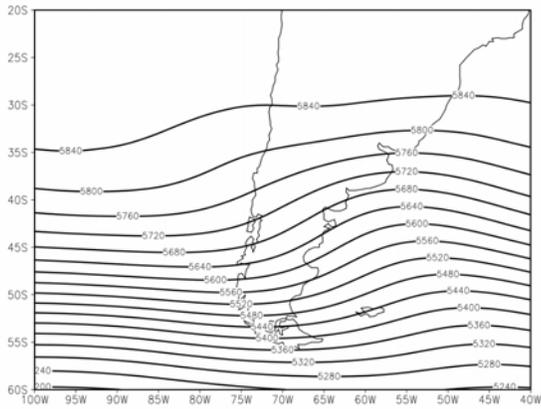


Figura 12: Campo medio de altura geopotencial 500 hPa (mgs) asociado a mTS

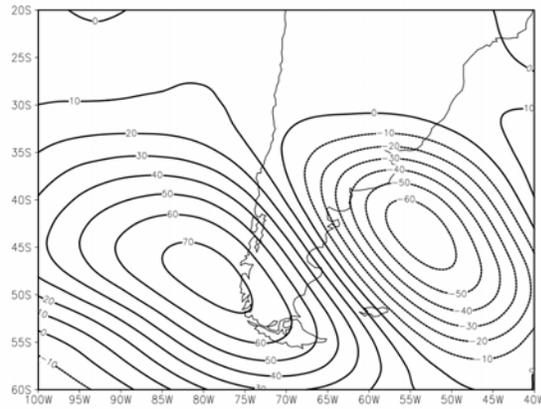


Figura 13: Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 500 hPa (mgs) asociado a mTS

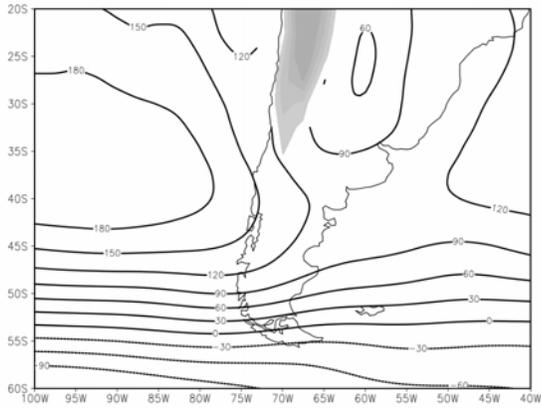
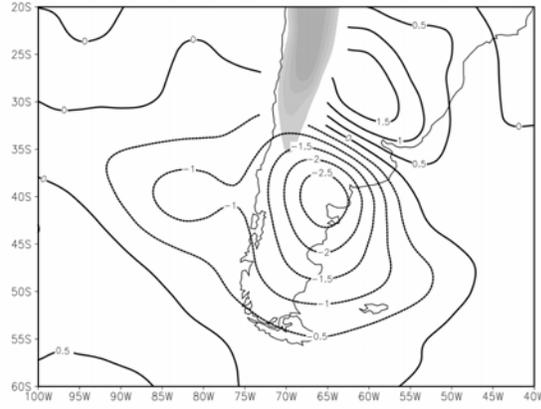


Figura 14: Campo medio de altura geopotencial 1000 hPa (mgs) asociado a mTH



Las masas de aire que afectan el sur de la provincia...

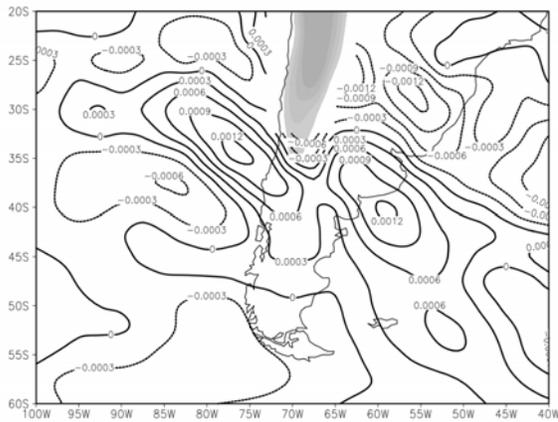


Figura 18: Campo medio de anomalías de humedad específica de 850 hPa (kg/kg) asociado a mCS

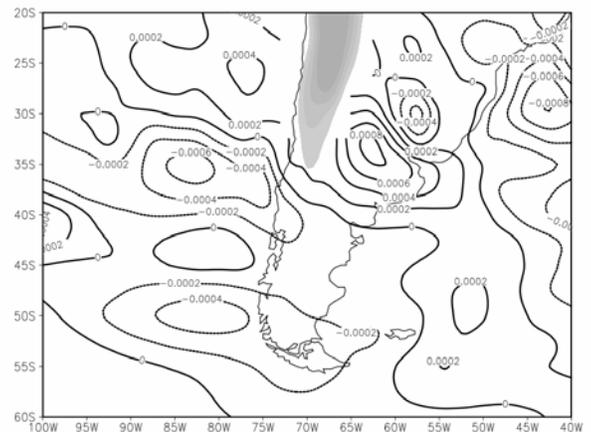


Figura 19: Campo medio de anomalías de humedad específica de 850 hPa (kg/kg) correspondiente a mCH

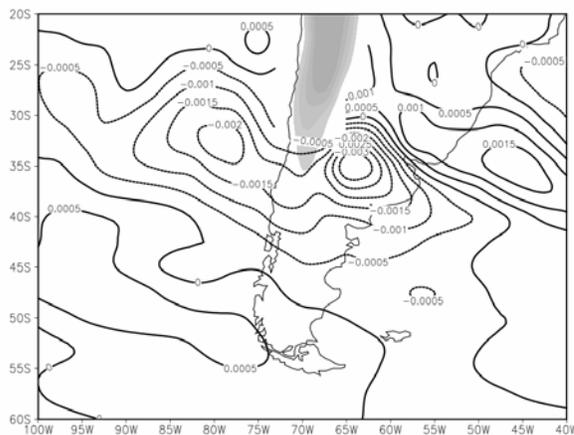


Figura 20: Campo medio de anomalías de humedad específica de 850 hPa (kg/kg) correspondiente a mTS

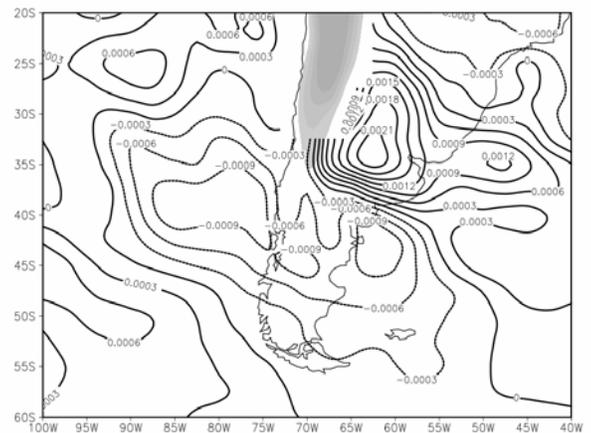


Figura 21: Campo medio de anomalías de humedad específica de 850 hPa (kg/kg) correspondiente a mTH

Las retro trayectorias de 216 horas obtenidas para los eneros de los años 2003 y 2005 muestran que las mCS (Figura 22) y mCH (Figura 23) tienen su origen principalmente en el Atlántico, pero también pueden originarse en el Pacífico, llegar al norte de Zavalla y luego rotar y volver como masas retrógradas. Si bien ambas masas de aire tienen el mismo origen se observa que las mCS poseen un mayor recorrido continental durante el tiempo analizado que las mCH. Esto permite que la humedad que traen llegue en menor magnitud

cuando acontecen mCS, ya que la van perdiendo durante su trayectoria.

Por otro lado las mCH provenientes del Atlántico muestra algunas situaciones que podrían estar relacionadas a sudestadas.

Las mTS (Figura 24) tienen su origen en el Pacífico, y las mTH (Figura 25) en su mayoría en el Atlántico mostrando advección de aire cálido húmedo previo al pasaje frontal frío

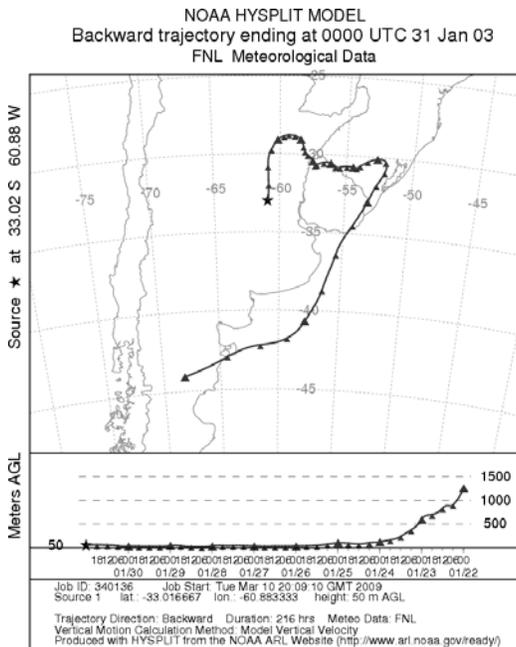


Figura 22: Retrotrayectoria correspondiente al día 31 de enero de 2003: mCS

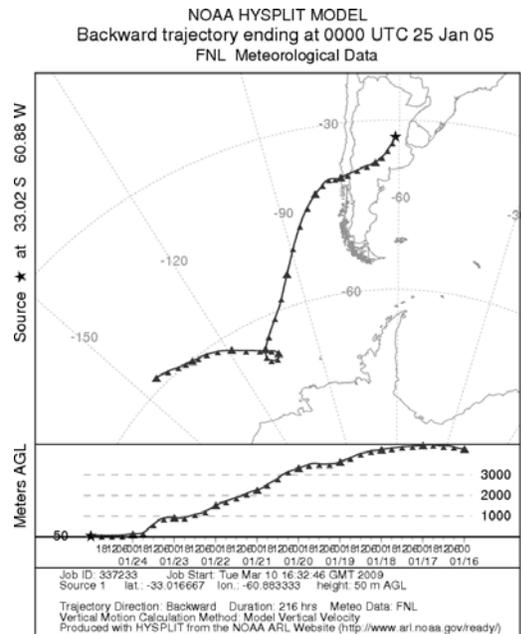


Figura 24: Retrotrayectoria correspondiente al día 25 de junio de 2005: mTS.

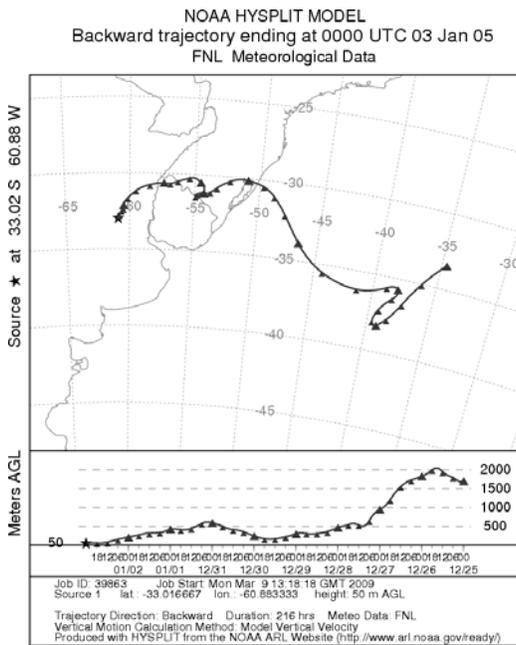


Figura 23: Retrotrayectoria correspondiente al día 3 de enero de 2005: mCH

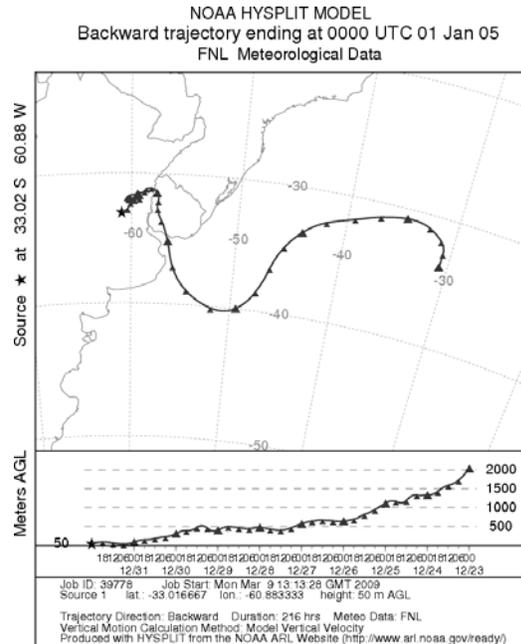


Figura 25: Retrotrayectoria correspondiente al día 1 de enero de 2005: mTH

#### 4. CONCLUSIONES

La relación entre los tipos de masas de aire que afectan la región de estudio, sur de Santa Fe, sus características de tiempo, los campos de circulación asociados, permitió determinar bajo que

situaciones atmosféricas se produjeron precipitaciones y en particular cuándo ocurrieron las más intensas. Se determinó que las precipitaciones ocurridas durante masas de aire mCS y mCH (63%) estarían asociadas principalmente a *tormentas de masas de aire o al*

*pasaje de frentes cálidos.* En cambio las precipitaciones asociadas a mTS y mTH (37%) evidencian en promedio la presencia de *frentes fríos o estacionarios.*

Esta clasificación se puede extender a la búsqueda de relaciones con otro tipo de problemas bioambientales como puede ser estrés hídrico, estrés térmico, aparición de plagas, problemas de salud. etc.

El análisis de las retrotrayectorias debe extenderse a un período de análisis mayor ya que la información que brinda es de fundamental importancia para complementar el conocimiento de las características que va adquiriendo la masa de aire en su recorrido continental y oceánico y que en definitiva determinarán los estados de tiempo en la región de llegada.

## REFERENCIAS

- Aalto, T., Hatakka, J., Viisanen, Y., 2003. Influence of air mass source sector on variations in CO<sub>2</sub> mixing ratio at a boreal site in northern Finland. *Boreal Environmental Research*, **8**, 385-393.
- Adame, J. y Solé, J., 2008. The application of an air masses classification to interpret ozone exceedances at Ebre Observatory (northeast Spain). *Geophysical Research (Abstract)*, **10**, 2365-2365
- Bartolomé, M., Caputo, M., Celis, A., Herzer, H. y Rodríguez, C., 2004. El clima y otros factores de riesgo productivo en la pampa húmeda argentina. *Realidad Económica*, **202**, 88-107.
- Bejarán, R. y Camilloni, I., 2003. Objective method for classifying air masses: an application to the analysis of Buenos Aires' (Argentina) urban heat island intensity. *Theor. Appl. Climatol.*, **74**, 93-103.
- Coronel, A., Bischoff, S. y Lara, M., 2006. Estructura vertical, temporal y espacial de las masas de aire extremas en la República Argentina en invierno. *Meteorológica*, **31** (1 y 2), 37-48
- Celemín, A., 1984. *Meteorología Práctica*. Edición del autor. Mar del Plata. 320 págs.
- Draxler, R., y Hess, G. 1997: Description of the HYSPLIT\_4 modeling system. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-224, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 24 págs.
- Draxler, R., y Hess, G., 1998: An overview of the HYSPLIT\_4 modeling system of trajectories, dispersion, and deposition. *Aust. Meteor. Mag.*, **47**, 295-308.
- Fealy, R. y Sweeney, J., 2007. Identification of frequency changes in synoptic circulation types and consequences for glacier mass balance in Norway. *Norsk Geografisk idsskrift \_Norwegian Journal of Geography*, **61**, 76-91
- Greene, J. y Kalkstein, L., 1996. Quantitative analysis of summer air masses in the eastern United States and an application to human mortality. *Climate Research*, **7**, 43-53.
- Jamason, P., Kalkstein, L. y Gergen, P., 1997. A Synoptic Evaluation of Asthma Hospital Admissions in New York City. *Am J Respir Crit Care Med*, **156**, 1781-1788.
- Kalkstein, L., Dunne, P. and Vose, R., 1990. Detection of climatic change in the western North American Arctic using a synoptic climatological approach. *J. Climate*, **3**(10), 1153-1167.
- Kalkstein, L. y Greene, J., 1997. An Evaluation of Climate/Mortality Relationships in Large U.S. Cities and the Possible Impacts of a Climate Change. *Environmental Health Perspectives*, **105** (1), 84-93.
- Kalkstein, L., Sheridan, S. y Graybeal, D., 1998. A determination of character and frequency changes in air masses using a spatial synoptic classification. *Int. J. Climatol.*, **18**, 1223-1236.
- Kalnay, E. y coauthors, 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- McGregor, G., Walters, S. y Wordley, J. 1999. Daily hospital respiratory admissions and winter air mass types, Birmingham, UK. *Int J Biometeorol.*, **43**, 21-30.

NOAA, 2010. Hysplit Trajectory Model.  
<http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajasrc.pl>

Sacchi, O., Dalla Marta, N., Costanzo, M., Coronel, A. 2002. Caracterización de las precipitaciones en la localidad de Zavalla. Revista de Investigaciones de la Fac. de Cs. Agrarias (UNR), **2**, 91-103.

Spath, H. 1980. Cluster analyses algorithms for data reduction and classification of objects. Chicester: Ellis Horwood. 226 págs.

Stunder, B. NCEP Model Output FNL Archive Data, TD 6141, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, USA, 1997.

Tan, J., Kalkstein, L. Huang, J., Songbai Lin, J., Yin, H. y Shao, D. 2004 An Operational heat/health warning system in Shanghai. Int J Biometeorol, **48**, 157–162.