

Masas de aire y patrones de circulación asociados a la ocurrencia de deficiencias hídricas severas durante el período crítico de maíz

DICKIE, M.J.^{1,2}; CORONEL, A.²

RESUMEN

En estudios referentes a fenómenos meteorológicos asociados a una región, la Climatología Sinóptica permite analizar las interacciones existentes entre la circulación atmosférica y las condiciones presentes en superficie.

El área de estudio de este trabajo se ubica en el departamento Rosario, provincia de Santa Fe donde se realizó una clasificación de los procesos sinópticos asociados a eventos de deficiencias hídricas severas (DHS) que afectan al rendimiento (R) durante el período crítico (PC) del cultivo de maíz.

Las condiciones predominantes de los patrones de circulación relacionados con estas masas de aire (ma) evidencian una fuerte subsidencia (descenso de aire) sobre el centro norte del país que impide el ascenso de las ma. También se observa advección (movimiento horizontal) de aire cálido desde el norte y noroeste. El comportamiento de las ma y de sus campos de circulación, asociadas a casos de DHS, presenta un alcance regional en la merma de los R de maíz, ya que su influencia se extiende a un número importante de departamentos de las provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires.

Palabras clave: circulación atmosférica, patrones sinópticos, rendimientos.

ABSTRACT

In studies referring to regional meteorological phenomena, the Synoptic Climatology contributes to the analysis of interactions between atmospheric circulation and surface conditions.

The area assessed in this research is located in the Rosario Department within the province of Santa Fe, where we realized a classification of the synoptic processes associated with severe water deficiencies (SWD) during the critical period (CP) of corn, which affect its yield (Y).

The prevailing conditions of circulation patterns related to these air masses (am), show a strong subsidence of air on the northern part of the country that prevents the rise of the am. Advection (horizontal movement) of warm air from the north and northwest is also observed. The behavior of the am and its circulation fields, associated with cases of SWD, result in a reduction of corn Y, since its influence extends to an important number of departments of the provinces of Santa Fe, Entre Ríos and Buenos Aires.

Keywords: atmospheric circulation, synoptic patterns, yields.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Oliveros, Agencia de Extensión Rural (AER) Cañada de Gómez, Lavalle 1466 (2500), Cañada de Gomez, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: dickie.maria@inta.gob.ar

²Universidad Nacional de Rosario (UNR), Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Climatología Agrícola. Zavalla, Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: acoronel@unr.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El área de estudio, Pampa húmeda, constituye la región agropecuaria más competitiva de Argentina y según Bartolomé *et al.* (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 ma que afectan la región.

La Climatología Sinóptica estudia las interacciones existentes entre la circulación atmosférica y las condiciones presentes en superficie, por ello tiene un alto potencial para ser utilizada en investigaciones referentes a fenómenos meteorológicos asociados a una región (Gutiérrez *et al.*, 2005).

Las investigaciones en esta rama de la climatología pueden dividirse, en general, en dos clases: los métodos basados en las situaciones sinópticas y los métodos basados en las ma. Los primeros se definen a través de los campos de presión y viento en superficie o de los campos de altura y representan distintas situaciones de la circulación atmosférica (Coronel, 2001). Los tipos de circulación atmosférica pueden definirse como las configuraciones que adopta un campo meteorológico (presión a nivel del mar, altura geopotencial) sobre un ámbito espacial concreto (Rasilla Álvarez, 2003).

La Climatología Sinóptica se debe llevar a cabo en dos etapas: (1) la clasificación de la circulación atmosférica; y (2) estimación de la relación entre esas categorías y los elementos meteorológicos de la región. La segunda fase ha sufrido una considerable ampliación debido a que es posible relacionar variables no meteorológicas con patrones de circulación, un ejemplo de ello son los estudios realizados sobre calidad de agua, rendimientos de cultivos, ozono troposférico, etc. (Barry y Perry, 1973).

La Climatología Sinóptica busca explicar las interacciones entre la atmósfera y el ambiente, haciendo énfasis en cómo las variaciones en la circulación atmosférica inducen cambios en las variables en superficie (Gutiérrez *et al.*, 2005). La clasificación de los procesos sinópticos puede realizarse a través de dos métodos, es posible establecer una relación circulación-ambiente, que se fundamenta en la descripción de los campos de las variables en superficie a través de la caracterización de los patrones sinópticos; y ambiente-circulación, en donde en primera instancia se caracterizan los campos de las variables en superficie para posteriormente asociarlos a patrones sinópticos (Gutiérrez *et al.*, 2005).

En este artículo se utiliza la metodología ambiente-circulación, partiendo de la relación entre DHS y R de maíz (Dickie y Coronel, 2018a), luego, la caracterización de las ma a través de variables de superficie (Dickie y Coronel, 2018b) y por último los campos de circulación. En la región de estudio, para el cultivo de maíz existe un gran rango de fechas de siembra (FS) que ocurren desde mediados

de septiembre hasta mediados de diciembre, lo cual junto con las características meteorológicas de cada año condicionan el momento de ocurrencia del PC y por lo tanto el R final. Andrade *et al.* (1996) manifiestan que el PC de maíz abarca, aproximadamente, un mes centrado en la floración femenina. Dickie y Coronel (2018a), a partir del análisis de la relación entre las deficiencias hídricas (DH) brindadas por el Balance hídrico seriado decádico y los R sin tendencia del cultivo (Raj), determinaron dos períodos con relaciones significativas entre ambas variables: segunda década de noviembre (PC1) y segunda década de diciembre a primera década de enero (PC2). Si se analizan estos PC en relación con las posibles FS, se observa que para FS normales el PC1 ocurre dentro del estado vegetativo y el PC2 durante el estadio de floración e inicio de llenado de granos, para FS muy tempranas el PC1 podría estar asociado a la etapa de floración, y por último en FS tardías, disminuye significativamente la incidencia de los PC encontrados en la merma del R (Dickie y Coronel, 2018a). Asimismo, en este artículo se determinaron las campañas agrícolas que mostraron DH severas (DHS), considerando a las que tuvieron una merma superior al 26% en el R respecto del R esperado, que fue determinado como un polinomio de segundo grado. Las campañas que cumplían con esta condición fueron: 1983/84 (26%), 1999/00 (27%), 2005/06 (30%), 1996/97 (33%), 1989/90 (39%), 1982/83 (43%), 2008/09 (44%), 1988/89 (54%), 1975/76 (56%).

Los autores luego clasificaron las ma durante estos dos PC (Dickie y Coronel, 2018b) para luego analizar los elementos meteorológicos asociados a situaciones de DHS a través de las características de las ma específicas involucradas. En el PC1, la ma templada seca (mTS) se caracteriza por ser templada, seca, sin precipitaciones (PP), valores de temperatura (T) y humedad relativa media (HRm) inferiores a lo normal y presión atmosférica (Patm) mayores a lo normal; la Tmin de esta ma es inferior a la Tmin de noviembre que es de 15 °C. La ma cálida y seca (mCS) se destaca por los valores de Tmáx mayores a lo normal. Estas ma representan las condiciones de máximas T y bajas HRm y la ma templada húmeda (mTH) presenta valores de PP mayores a lo normal y los valores de heliofanía efectiva (Hef) y Patm son inferiores a los normales. Esta ma es característica de días con inestabilidad y PP. En el PC2 la ma templada húmeda con PP (mTHP) presenta la mayor cantidad de PP, la ma templada seca (mTS) es una ma seca debido a la falta de PP y al bajo contenido de HRm. En la ma cálida seca (mCS) las elevadas T las diferencia de las otras ma. En la ma templada con elevada HRm sin PP (mTHsP) las anomalías negativas de la Tmáx estarían asociadas a las anomalías negativas de Hef. Con estas características esta ma se clasifica como templada con elevado porcentaje de HRm. Por último, la ma fría seca (mFS) se distingue de las anteriores por presentar valores de T, en sus tres categorías (Tmáx, Tmin y Tmed), menores a lo normal.

Finalmente, el objetivo de este trabajo es realizar una clasificación de los procesos sinópticos asociados a DHS durante los PC encontrados que afectan al R del cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información utilizada corresponde a la base de datos del reanálisis del NCEP, provista por el NOAA Climate Diagnostic Center (Kalnay *et al.*, 1996), utilizando los mapas o campos de altura geopotencial de 1000 y 500 hPa, de T en 1000 hPa, en un enrejado de 2,5° x 2,5° de latitud y longitud para el período 1992-2014.

“Se entiende por geopotencial a la energía potencial que posee un cuerpo en virtud de hallarse en el campo de gravitación terrestre, referido a un nivel arbitrario o cero, que se toma correspondiendo al nivel medio del mar. Numéricamente es igual al trabajo que habría que realizar contra la gravedad para elevar la unidad de masa desde el nivel medio mar hasta la cota en la que está situada la masa”

(Cuadrat y Pita, 1997). Para análisis meteorológicos la altura geopotencial (Z) es mejor medida que la altura geométrica, por ello se ha definido el metro geopotencial (mgp), siendo su relación con la altura geométrica (z), la siguiente:

$$Z = (g.z) / 9,8$$

Donde g corresponde a la aceleración de la gravedad.

De acuerdo a Dickie y Coronel (2018a) se seleccionaron las campañas con una disminución del R severa: 1999/00 (27%), 2005/06 (30%), 1996/97 (33%), 2008/09 (44%), correspondientes al período 1992-2014, y a las más frecuentes durante los PC de dichas campañas, siendo mCS para PC1 y mTS y mCS para el PC2 (Dickie y Coronel, 2018b). Dado que una misma ma puede persistir por va-

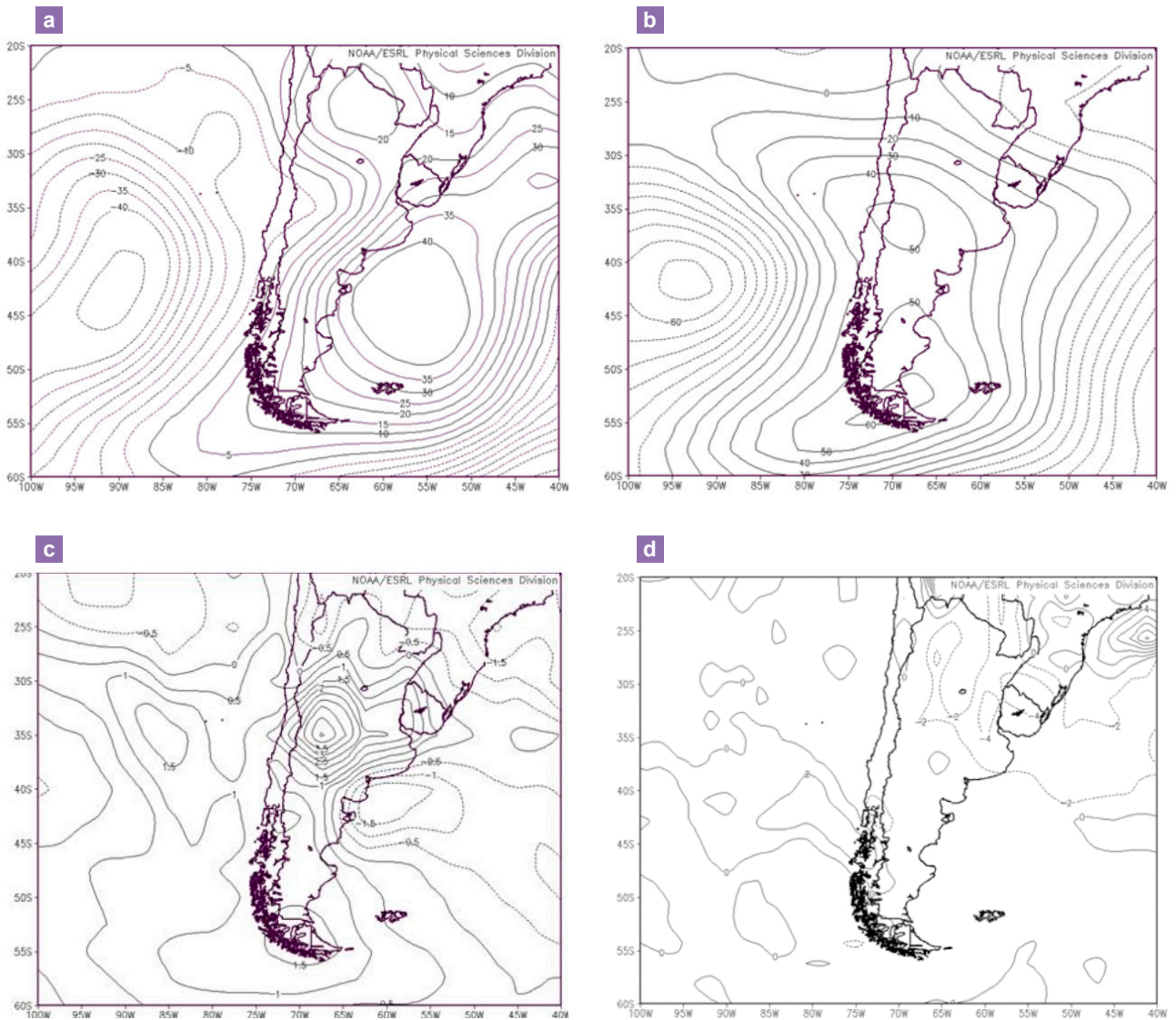


Figura 1. Masa de aire Cálida Seca (mCS) del PC1. Campañas: 1996/97; 1999/00; 2005/06 y 2008/09. a) Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 1000 hPa. b) Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 500 hPa. c) Campo medio de anomalías de temperatura en superficie. d) Campo medio de anomalías de tasa diaria de precipitación.

rios 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 ma separadas al menos tres días entre sí (Coronel *et al.*, 2006). A partir del primer día de cada ma característica, sobre el dominio de estudio de 20° S a 60° S de latitud y desde 40° O a 100° O de longitud, se calcularon los mapas o campos medios de anomalías de: altura geopotencial de 1000 hPa (representa superficie), altura geopotencial de 500 hPa (aproximadamente 5000 m de altura), T del aire en 1000 hPa y tasa diaria de PP. Para cada día seleccionado, el mapa de anomalías se construye a partir de las anomalías de cada punto de grilla. Este valor corresponde a la diferencia entre la variable en el momento analizado y su valor histórico. De este modo se establece el campo

medio característico de cada tipo de ma para las cuatro campañas analizadas.

RESULTADOS

Patrones sinópticos asociados a masa de aire cálida seca (mCS) durante el PC1

Por un lado, el campo de anomalías de 1000 hPa está caracterizado por una estructura con un dipolo entre ambos océanos, con un centro de anomalías positivas sobre el océano Atlántico y un centro de anomalías negativas sobre el océano Pacífico, ambos en aproximadamente 45° S. Por otro lado, se destacan anomalías positivas sobre todo el país. Esta configuración intensifica el flujo de aire desde el noroeste hacia el sudeste del continente (figuras 1a).

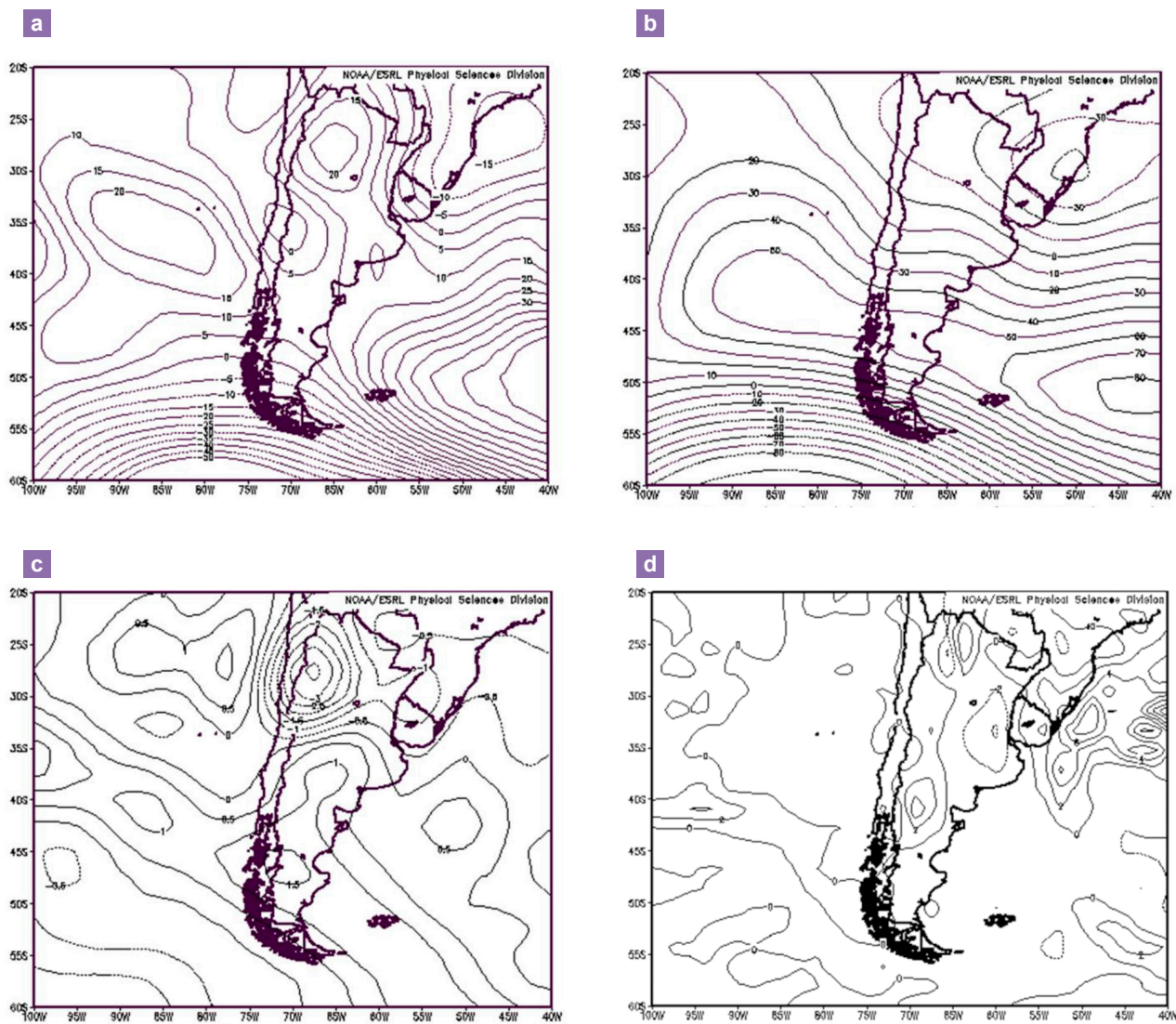


Figura 2. Masa de aire Templada Seca (mTS) del PC2. Campañas: 1996/97; 1999/00; 2005/06 y 2008/09. a) Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 1000 hPa. b) Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 500 hPa. c) Campo medio de anomalías de temperatura en superficie. d) Campo medio de anomalías de tasa diaria de precipitación.

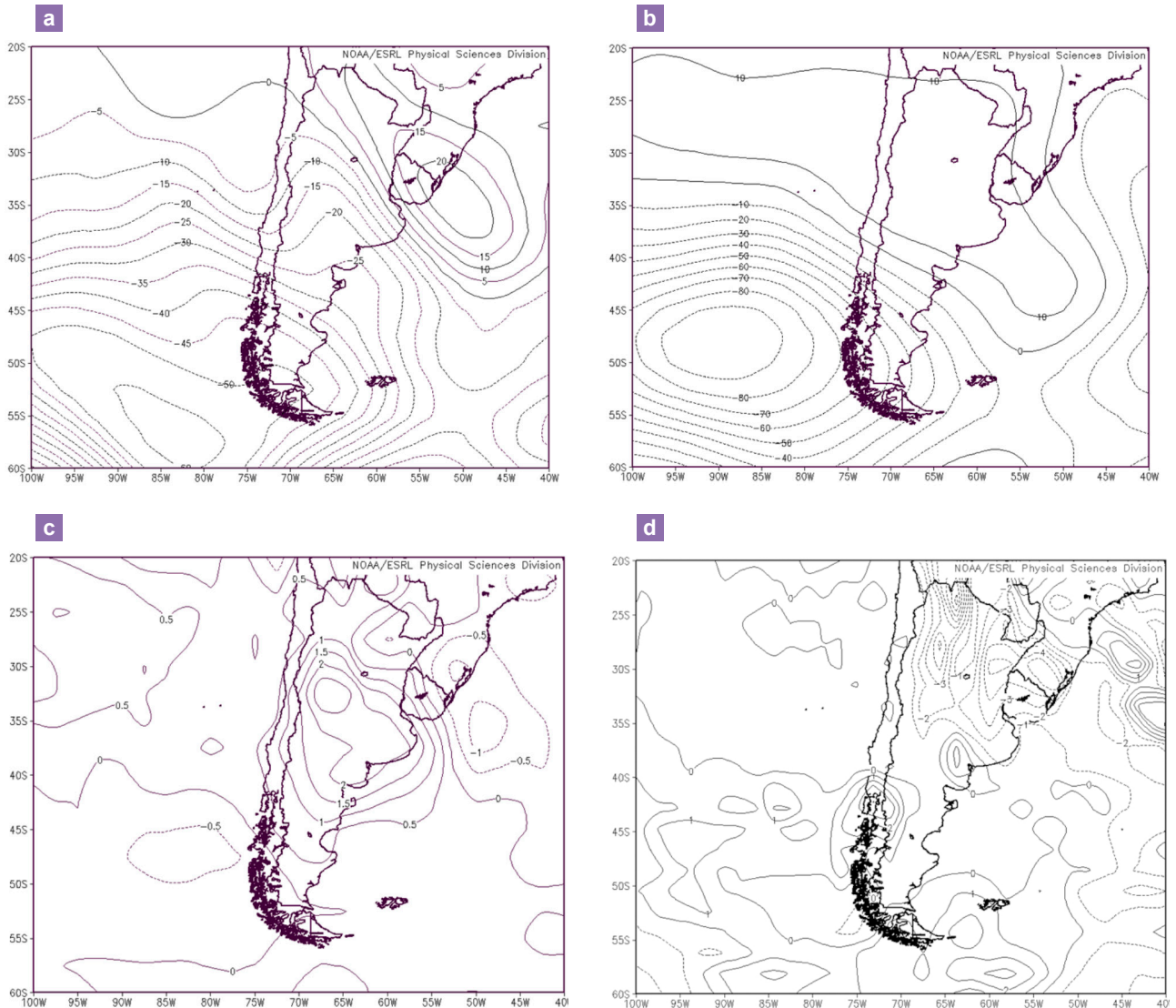


Figura 3. Masa de aire Cálida Seca (mCS) del PC2. Campañas: 1996/97; 1999/00; 2005/06 y 2008/09. a) Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 1000 hPa. b) Campo medio de anomalías de altura geopotencial de 500 hPa. c) Campo medio de anomalías de temperatura en superficie. d) Campo medio de anomalías de tasa diaria de precipitación.

En el campo de anomalías de 500 hPa se observan también dos centros de anomalías opuestos uno localizado sobre el océano Pacífico y el otro sobre Argentina, extendiéndose hacia el océano Atlántico, cuyos signos inducen a un flujo anómalo desde el norte. El centro de anomalías positivas sobre la Patagonia implica una disminución del flujo oeste sobre esta región (figuras 1b).

El acople de estos patrones de circulación de superficie y de la tropósfera media estaría asociado a una disminución de llegadas de frentes fríos a la Argentina y en particular a la región de La Pampa húmeda, y una subsidencia sobre la zona lo cual impide el ascenso de las ma. Este patrón sinóptico es inhibitorio de la PP, ya que la presencia de cuñas o anticiclones en la tropósfera media y superior impiden la formación de nubes y lluvia (Celemín, 1984).

Como consecuencia del flujo de aire desde el norte se observan las intensas anomalías de T del aire, que llegan hasta 3 °C en el centro del país (figura 1c). A su vez se determina una anomalía negativa de la tasa diaria de precipitación en el centro y norte de Argentina y sobre Uruguay (figura 1d).

Patrones sinópticos asociados a masa de aire templada seca (mTS) durante el PC2

Prevalecen sobre el continente las anomalías positivas tanto en 1000 como en 500 hPa, dando en consecuencia una fuerte subsidencia en prácticamente todo el país (figuras 2a y b). Si bien la advección de aire cálido desde el norte está presente en esta configuración de alturas geopotenciales, la presencia de un centro de anomalías negativas en el sur de Brasil en ambos niveles debilitan esta advec-

ción respecto a la que puede ocurrir en las mCS del PC1, dando como consecuencia ma con menores T y que se reflejan en anomalías negativas de T del aire (figura 2c).

Al igual que en la ma anterior la zona de estudio se ubica en la parte delantera de cuña en el nivel de 500 hPa (figura no mostrada) lo cual implica condiciones de buen tiempo.

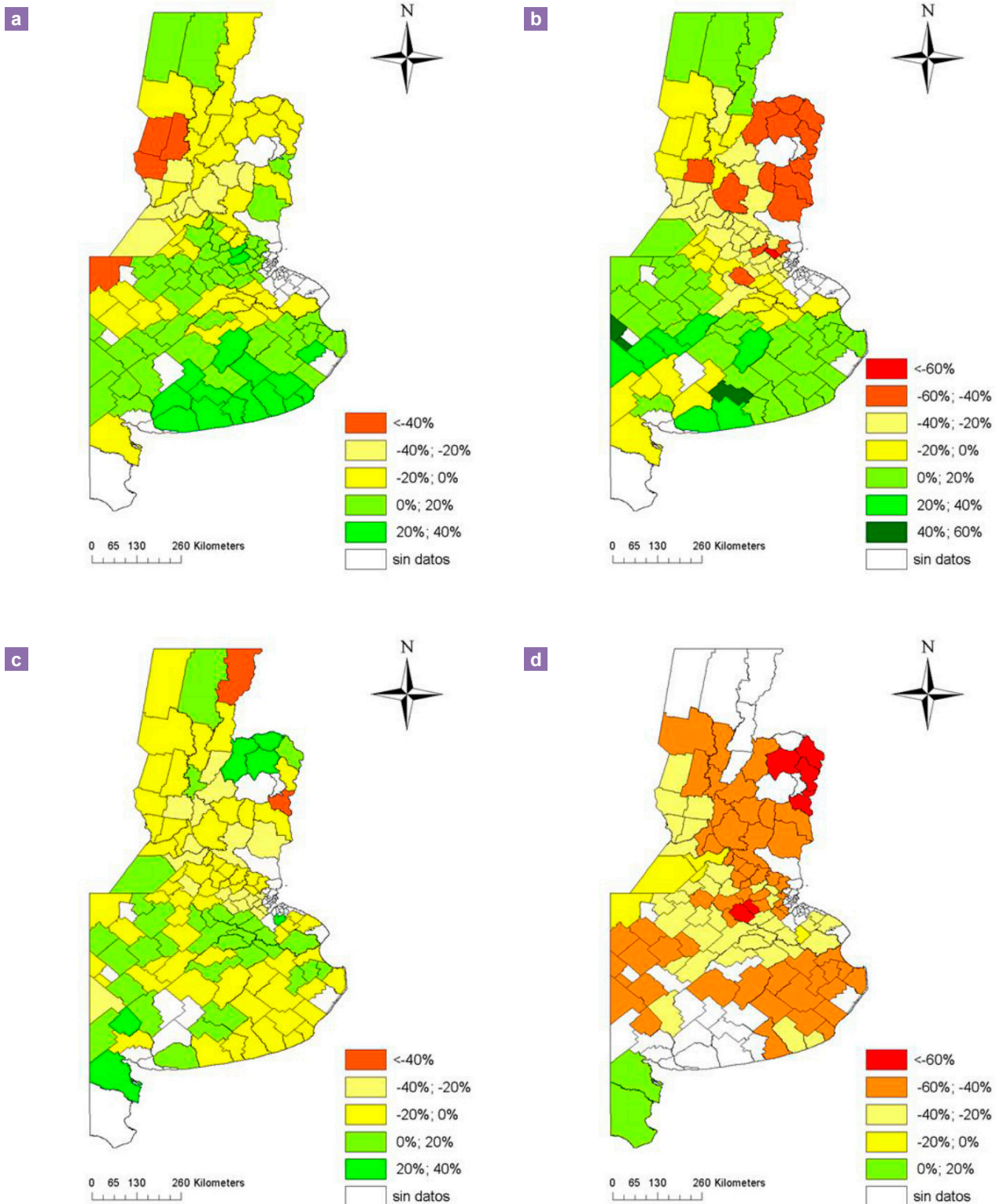


Figura 4. Disminuciones y aumentos porcentuales de los R departamentales de maíz, respecto a los Raj, en las provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires. Campañas: a) 1996/97; b) 1999/00; c) 2005/06 y d) 2008/09.

A su vez se determina una tasa diaria negativa de PP en el centro este de Argentina (figura 2d).

Patrones sinópticos asociados a masa de aire cálida seca (mCS) durante el PC2

Las mCS del PC2 presentan una variación en los campos de anomalías, ya que se observa un dipolo sobre la parte continental con anomalías positivas en el litoral y norte del país para 1000 hPa y una mayor extensión que abarca el centro y norte de Argentina para 500 hPa. El resto del país presenta anomalías negativas de altura geopotencial en ambos niveles. La permanencia de anomalías positivas sobre la región de estudio implica la presencia de subsidencia que inhibe la PP (figuras 3a y b).

Se advierte que la dirección del flujo aporta bajo contenido de humedad al provenir fundamentalmente del sur, debido a las anomalías negativas de altura geopotencial, o del oeste. Este flujo del oeste está asociado a ma cálidas con cielos despejados y baja o nula PP, dando como consecuencia un centro de anomalías positivas de T del aire sobre la región de estudio y una anomalía negativa en la tasa de PP de -3 mm.día^{-1} (figuras 3c y d).

DISCUSIÓN

Por un lado, los patrones de circulación asociados a las ma que provocan DHS muestran claramente una inhibición de las PP, ya sea por la disminución de la entrada de frentes fríos que es el principal factor dinámico de las lluvias en la región de estudio o debido a la subsidencia sobre el área analizada que impide el ascenso de las ma y por lo tanto la formación de nubosidad y PP. Por otro lado, se observa una fuerte advección de aire cálido desde el norte o noroeste en las mCS de ambos PC que provoca T superiores a lo normal. Estos patrones sinópticos son coincidentes con los hallados por Bischoff y Vargas (2003) Barrucand *et al.* (2007) y Bettoli *et al.* (2010) para situaciones de sequía, quienes analizaron la circulación asociada a extremos de PP y de T en distintas regiones del país, a condiciones de sequía en el centro norte de Argentina, y a la PP diaria en la zona núcleo de producción agrícola de nuestro país, respectivamente.

Los efectos de las ma encontradas y de la circulación asociada a estas no tienen simplemente un efecto puntual, sino que sus consecuencias son regionales. Esto puede observarse en las figura 4a, b, c y d donde se muestran los aumentos y disminuciones de los R de maíz para los distintos departamentos de las provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires.

En la campaña 1996/97 en casi todos los departamentos de la provincia de Santa Fe, con la excepción de 9 de Julio y Vera se observa una disminución de los R. Igual situación se muestra en la provincia de Entre Ríos. En Buenos Aires se presenta un mayor número de departamentos con aumentos en los R respecto a las otras provincias.

En la campaña 1999/2000 los departamentos que presentan disminuciones se encuentran en toda la provincia de Entre Ríos, en el centro y sur de la provincia de Santa Fe y en el NE de la provincia de Buenos Aires. En esta campaña la disminución de los R alcanza mayores valores que en la campaña anterior a escala regional, si bien el dpto. Rosario no siguió esta tendencia.

En la campaña 2005/2006 se acentúa la cantidad de departamentos que presentan disminuciones del R en la provincia de Buenos Aires. Durante el año 2006 la recarga hídrica concretada a principios de febrero permitió mejorar aquellos maíces que –sembrados tardíamente– aún estaban en etapa vegetativa. En los más avanzados, esas lluvias llegaron tardíamente y provocaron caídas del rendimiento de hasta un 30%. En algunas zonas, los productores optaron por transformar en forraje al maíz en pie mediante el picado, lo que aumentó la proporción de área que no se destinó a la obtención de grano (Bolsa de Comercio de Rosario, 2006).

Y por último se destaca la campaña 2008/2009 por presentar fuertes mermas de los R en toda la región, solo con la excepción de dos departamentos en el extremo sur de la provincia de Buenos Aires. Según FAO (2012) la sequía ocurrida durante esta campaña produjo una merma en la producción de maíz de 8,9 millones de toneladas, un 40% menos que lo producido en la campaña anterior.

Los resultados encontrados muestran que las estructuras atmosféricas (ma y patrones de circulación) favorecen o desfavorecen los R de maíz, ya que condicionan fuertemente la ocurrencia e intensidad de DH durante los PC del cultivo. El seguimiento de estas ma durante la campaña es una herramienta adicional para el pronóstico de los R.

CONCLUSIONES

Las condiciones predominantes de los patrones de circulación relacionados a estas ma evidencian por un lado una fuerte subsidencia sobre el centro norte del país que impide el ascenso de las ma y una advección de aire cálido desde el norte y noroeste. Para las ma mCS del PC1 y mTS del PC2 el patrón de anomalías positivas sobre la Patagonia impide la entrada de frentes fríos al país, y en particular su llegada a la región analizada, de manera que disminuye fuertemente el factor dinámico de las PP.

El análisis de las ma y de sus campos de circulación asociados en casos de DHS presenta un alcance regional en la merma de los R de maíz, ya que se extiende a un número importante de departamentos de las provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires.

BIBLIOGRAFÍA

BARTOLOMÉ, M.; CAPUTO, M.G.; CELIS, A.; HERZER, H.; RODRÍGUEZ, C. 2004. El clima y otros factores de riesgo productivo en la pampa húmeda argentina. Realidad Económica, 202. Instituto Argentino de Desarrollo Económico (IADE), Buenos Aires. 88-107.

- BARRY, R.G.; PERRY, A.H. 1973. *Synoptic Climatology: Methods and Applications*. Methuen, 555 p.
- BARRUCAND, M.; VARGAS, W.; RUSTICUCCI, M. 2007. Dry conditions over Argentina and the related monthly circulation patterns. *Meteorology and Atmospheric Physics*. DOI 10.1007/s00703-006-0232-5.
- BETTOLLI, M.L.; PENALBA, O.C.; VARGAS, W.M. 2010. Synoptic weather types in the south of South America and their relationship to daily rainfall in the core crop-producing region in Argentina. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 60, 37-48.
- BISCHOFF, S.; VARGAS, W. 2003. The 500 and 1000 hpa weather type circulations and their relationship with some extreme climatic conditions over southern South America. *International Journal of Climatology*, 23, 541-556.
- BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. 2006. Informativo semanal, 1246, 48 p. (Disponible: http://www.bcr.com.ar/Publicaciones/Informativo%20semanal/bcr2006_03_17.pdf verificado: 17 de agosto de 2017).
- CELEMÍN, A. 1984. *Meteorología Práctica*. Edición del autor. Mar del Plata. 320 p.
- CORONEL, A. 2001. *Climatología sinóptica de las masas de aire que afectan a la República Argentina*. Tesis doctoral, Dpto. Cs. De la Atmósfera y los Océanos, 184 p. (Disponible: http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3416_Coronel.pdf verificado: 18 de agosto de 2017).
- CORONEL, A.; BISCHOFF, S.; 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.
- DICKIE, M.J. 2016. Las masas de aire que afectan al Departamento Rosario durante el período crítico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de maestría FCA-UNR. (Disponible: https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/6911/INTA_CR-SantaFe_EEAOliveros_%20Dickie%3BMJ_Tesis_Masas_aire_afectan_departamento_Rosario.pdf?sequence=1&isAllowed=yverificado: marzo de 2020).
- DICKIE, M.J.; CORONEL, A. 2018a. Relación estadística entre los rendimientos de maíz y la ocurrencia de deficiencias hídricas en el Depto. Rosario. *Ciencias Agronómicas*. Revista xxxi, Año 18, 2018/017, 024.
- DICKIE, M.J.; CORONEL, A. 2018b. Caracterización de las masas de aire asociadas al período crítico del cultivo de maíz en el departamento Rosario. XVII Reunión de Agrometeorología. Villa de Merlo San Luis. 36-37 p.
- FAO, 2012. FAOSTAT data. Statistics Division (Disponible: <http://faostat3.fao.org/home/index.html> verificado: 18 de agosto de 2017).
- FEALY, R.; 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.
- GUTIÉRREZ, Q.; ESTATIO, J.; VARGA, S.; CARLOS, I. 2005. Climatología sinóptica de los patrones circulatorios de la estación lluviosa venezolana en el período 1978-1999. 465 p.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, B.; CHILLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; JENNE, R.; JOSEPH, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- KALKSTEIN, L.S.; NICHOLS, M.C.; BARTHEL, C.D.; GREENE, J.S. 1996. A New Spatial Synoptic Classification: Application to Air Mass Analysis. *International Journal of Climatology*, 16(8), 983-100.
- RASILLA ÁLVAREZ, D. 2003 Aplicación de un método de clasificación sinóptica a la Península Ibérica. *Investigaciones Geográficas*, 30, 27-45.