

CAMBIOS ESPERADOS EN LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DEL SUELO EN ARGENTINA

Alfredo J. Costa^{3,4}, Marcela H. González^{1,2} y Mario N. Núñez^{1,2}

¹Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET/UBA)

²Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEN-UBA)

³Instituto Antártico Argentino (IAA/DNA)

⁴Pontificia Universidad Católica Argentina Ciencia y Técnica (UCACyT)

(Manuscrito recibido el 16 de abril de 2010, en su versión final el 22 de mayo de 2012)

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar el posible cambio regional en la disponibilidad hídrica del suelo entre las décadas 1981-1990 y 2081-2090 para el sur de Sudamérica. Para ello se trabajó con salidas del modelo regional MM5 sobre el área de estudio. Estas salidas cubren un período de 10 años representando la climatología presente (1981-1990) y dos escenarios futuros de emisión de gases de efecto invernadero A2 y B2 (IPCC 2001) para el período 2081-2090. Se utilizaron salidas de temperatura y precipitación para calcular la disponibilidad hídrica. Los resultados obtenidos para 2081-90 muestran que la totalidad de Argentina subtropical presenta menor disponibilidad de agua en el suelo. Este efecto se nota principalmente en el noroeste en primavera y verano. En la región noreste los excesos se reducen notablemente en verano.

Palabras clave: modelo MM5, precipitación, temperatura, disponibilidad hídrica, modelo climático regional.

EXPECTED CHANGES IN SOIL WATER AVAILABILITY IN ARGENTINA

ABSTRACT

This work aims to analyze the possible regional soil water availability between 1981-1990 and 2081-2090 for southern South America. Climate change simulations of Southern South America climate were performed using the regional climate model MM5. The simulations cover a 10-year period representing present-day climate (1981-1990) and two future scenarios for the A2 and B2 greenhouse gases emission scenarios (IPCC 2001) for the period 2081-2090. Simulations of temperature, precipitation were used to estimate soil water availability. Results for 2081-90 show lower soil water availability all over subtropical Argentina. This effect is especially relevant in the northwestern region, mainly in spring and summer. The excess are mainly reduced in summer in the northeastern region.

Keywords: MM5 model, precipitation, temperature, soil water availability, regional climate model.

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos de circulación general (MCG) son una herramienta efectiva para determinar la respuesta del sistema climático a la creciente concentración de gases de efecto invernadero y evaluar como el sistema climático evolucionará bajo distintos escenarios de emisión. Sin embargo, su resolución espacial, típicamente de varios cientos de kilómetros, es considerada insuficiente para algunos propósitos. Es por ello que muchos investigadores han desarrollado modelos regionales (MCR) que trabajan con mayor resolución que los globales y se adaptan a las características propias de la región que desean representar, produciendo resultados que mejoran ampliamente a los obtenidos con MCG (Giorgi et al. 2004, Caya y Biner 2004 y Raisanen et al. 2004).

El clima del sur de Sudamérica y su variabilidad son afectados tanto por forzantes regionales como locales, donde un rasgo sobresaliente es la presencia de la cadena montañosa de los Andes, que se extiende a lo largo de la costa occidental y actúa como una barrera que no permite el ingreso del flujo desde el oeste. Algunos estudios pioneros, como Menendez et al. (2003), Nicolini et al. (2002) y Figueroa et al. (1995), están enfocados en simulaciones estacionales. Sin embargo, hasta el momento, hay pocos resultados de simulaciones continuas y largas que permitan la evaluación del modelado climático regional sobre Sudamérica, representando, a su vez, el primer paso para construir escenarios de cambio climático regional. Como parte de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático para la Argentina, simulaciones de cambio climático para el sur de Sudamérica fueron llevadas a cabo usando el modelo regional MM5 anidado del modelo de circulación general atmosférico HadAM3H. Un análisis de la simulación de la climatología actual fue llevado a cabo por Solman et al. (2007) quienes evaluaron la confiabilidad de las simulaciones, identificando e interpretando errores sistemáticos del modelo. Nuñez et al. (2008) utilizaron el modelo para determinar la situación futura bajo diferentes escenarios.

Argentina cuenta con gran superficie ocupada por llanuras, y debido a los suelos fértiles y las bondades del clima, la economía de la región está plenamente relacionada con la actividad agrícola-ganadera. Esta actividad es altamente dependiente del clima y de su variabilidad interanual y en esta zona en particular se han observado cambios significativos durante el último siglo (Ferrero et al 2009). Debido a la baja pendiente de las llanuras, la lluvia tiene pocas posibilidades de escurrir superficialmente, por lo tanto la transferencia vertical (evaporación-infiltración) resulta más importante que el escurrimiento superficial y debido a ello muchas regiones del país se inundan con facilidad. Es conocida la influencia que la lluvia produce en el suelo: parte del agua se escurre y otra se infiltra y por lo tanto la capacidad del suelo de retener agua es de vital importancia para la actividad agrícola ya que permite tener reservas de agua cuando escasean las lluvias. Por otro lado, la temperatura regula, en gran medida, la evapotranspiración que actúa como sumidero de agua en el suelo. Es por ello que simulando estas dos variables principales es posible estimar en forma aproximada la disponibilidad hídrica del suelo en el futuro bajo distintos escenarios. González y Nuñez (2007) han evaluado los posibles balances hídricos futuros en la zona de la pampa bonaerense y demostraron una tendencia hacia excesos hídricos más significativos durante las épocas frías y mayores déficits en verano. En la medida que pueden estimarse cambios posibles en la precipitación y la temperatura, es posible también determinar cómo esos cambios pueden afectar la disponibilidad hídrica. Aún más complicado es determinar estos cambios cuando se producen además modificaciones en la cobertura vegetal (Lee y Berbery 2011; Sorenson y Menendez 2010).

El objetivo de este trabajo es utilizar los resultados de las simulaciones de temperatura y precipitación obtenidos con anterioridad por Solman et al (2007) y Nuñez et al. (2008) con el modelo regional MM5 para estimar la disponibilidad hídrica del suelo tanto en la época actual (1981-1990) como en el futuro (2081-2090) bajo los es-

cenarios A2 y B2 en Argentina al este de Los Andes. Los resultados permitirán evaluar la acción conjunta de los cambios de precipitación y temperatura y su influencia en la disponibilidad de agua en el suelo.

2. DATOS Y METODOLOGIA

Para llevar a cabo el objetivo del presente estudio se utilizaron los datos provenientes de tres simulaciones realizadas por Solman et al (2007) y Nuñez et al (2008) sobre el sur de Sudamérica, representando la climatología actual (1981-1990) (CTL) y dos escenarios futuros de emisión de gases de efecto invernadero SRES A2 y B2 (IPCC 2001) para el período 2081-2090.

Para analizar los cambios regionales en los escenarios A2 y B2 se calcularon las diferencias entre CTL y las situaciones a futuro A2 y B2 para la temperatura, la precipitación y la disponibilidad de agua en el suelo.

Para el cálculo de la disponibilidad de agua en el suelo fue utilizada la técnica de Thornwaite y Matter (TM) (1955). Aunque TM sea una metodología generada varias décadas atrás, produce resultados alentadores con un manejo matemático relativamente sencillo. Por ejemplo, González y Fernández (2007) han utilizado TM para evaluar la disponibilidad de agua en el suelo en la zona de la Pampa bonaerense utilizando observaciones in situ de precipitación y temperatura. También Ferrero et al (2009) aplicaron la misma técnica en un área mayor utilizando datos de estaciones de medición.

En este trabajo y siguiendo el método de TM, la disponibilidad de agua en suelo se calculó considerando una capacidad de campo de 250 mm. La falta de disponibilidad de datos de capacidad de campo en todo el territorio argentino no permitió utilizar distintas capacidades de campo a lo largo del dominio utilizando el valor promedio de los distintos suelos de la región (250 mm).

Con el fin de verificar si los valores de disponibilidad hídrica obtenidos con datos del mo-

delo, representan la disponibilidad hídrica real se realizó la comparación de los resultados derivados utilizando la temperatura y precipitación provistas por el modelo respecto de los que se hubieran obtenido utilizando datos observados. La validación fue realizada en 45 estaciones de Argentina, Uruguay y sur de Brasil correspondientes a la red del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, la Dirección de Meteorología de Uruguay y el Instituto Nacional de Meteorología de Brasil.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se obtuvieron anualmente y estacionalmente, tanto para CTL como para la esperada en situación de los escenarios A2 y B2. Se analizan el cambio producido en las variables temperatura y precipitación entre cada escenario y CTL. Posteriormente se calcula y analiza la disponibilidad de agua en el suelo.

Los cambios en la temperatura media de verano, invierno y los cambios medios anuales derivados de datos obtenidos por Solman et al. (2007) y Nuñez et al. (2008), se muestran en la figura 1. El patrón de calentamiento es similar para los escenarios A2 y B2 con algunas diferencias cuantitativas. Los cambios proyectados son mayores para el escenario A2 que el B2. Los mayores aumentos se observan en el noreste argentino y Paraguay, siendo levemente mayores durante el invierno, en el que se alcanzan valores máximos mayores a 3°C para el escenario A2 y a 2,5°C para el B2 mientras que en la región patagónica se ven valores menores a 2°C para el escenario A2 y menores a 1,5°C para el escenario B2.

Los cambios en la precipitación media de verano, invierno y los cambios medios anuales se muestran en la figura 2, de acuerdo con los datos obtenidos por Solman et al. (2007) y Nuñez et al. (2008). Ambos escenarios muestran un aumento general de la precipitación en el norte y centro de Argentina sobre todo en verano y una disminución en invierno. Se observa una zona de disminución en el noreste argentino y sudeste de Paraguay para el escenario A2 durante el

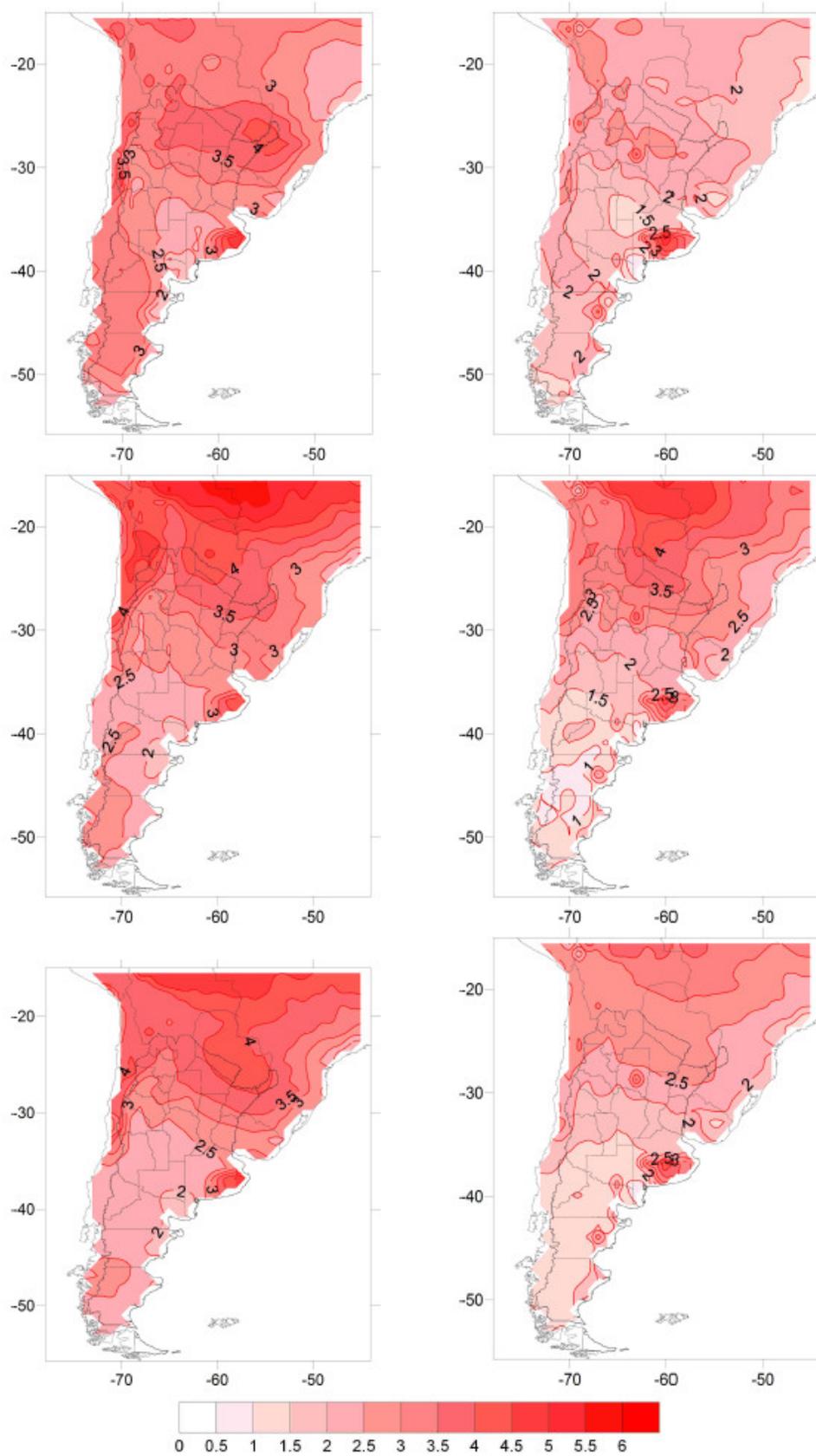


Figura 1: Cambios en la temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) de verano (panel superior), invierno (panel central) y anual (panel inferior) para el escenario A2 (izquierda) y B2 (derecha), de acuerdo a datos obtenidos por Solman et al.(2007) y Nuñez et al. (2008).

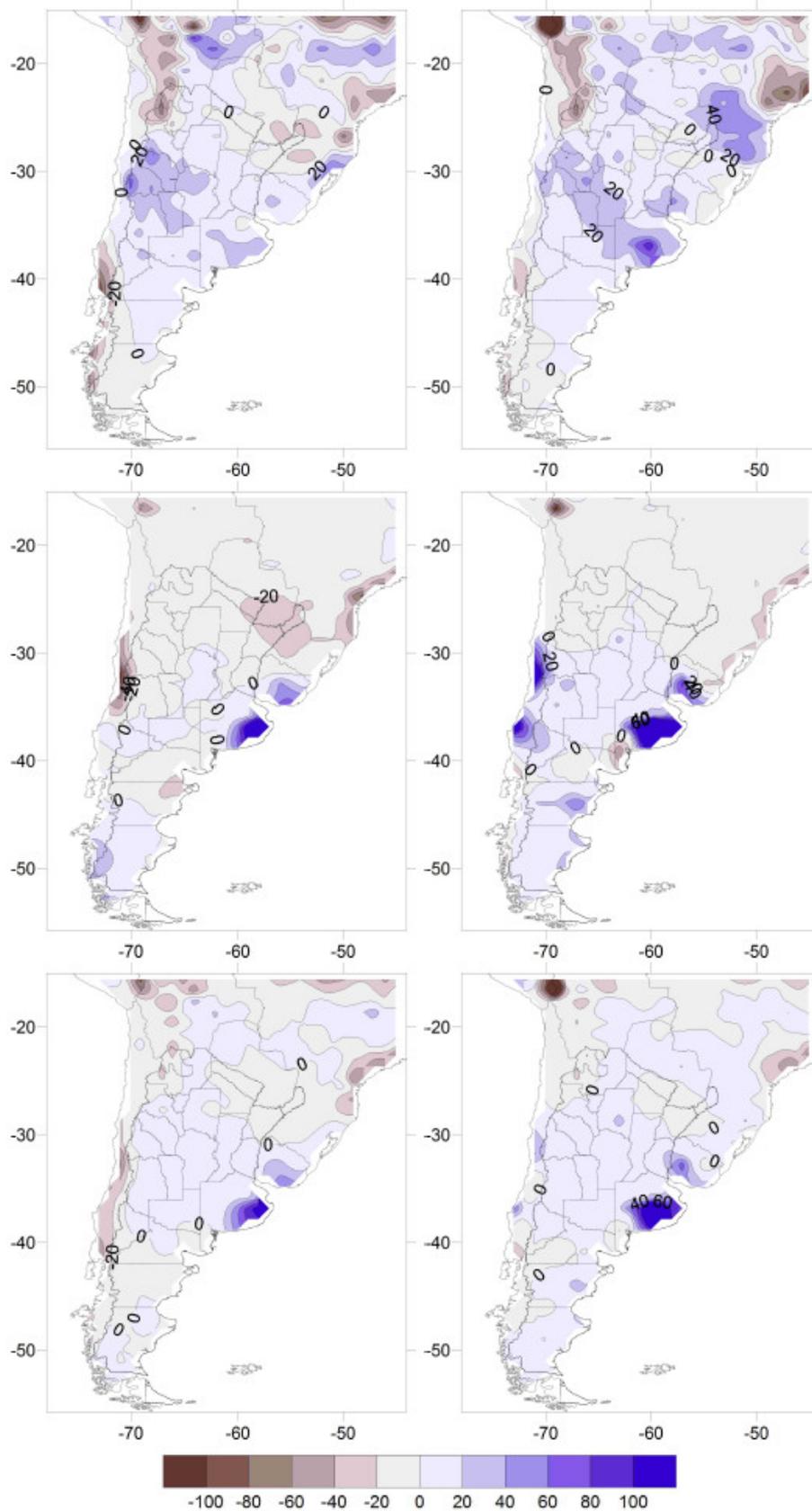


Figura 2: Cambios en la precipitación media (mm) de verano (panel superior), invierno (panel central) y anual (panel inferior) para el escenario A2 (izquierda) y B2 (derecha), de acuerdo a datos obtenidos por Solman et al. (2007) y Nuñez et al. (2008).

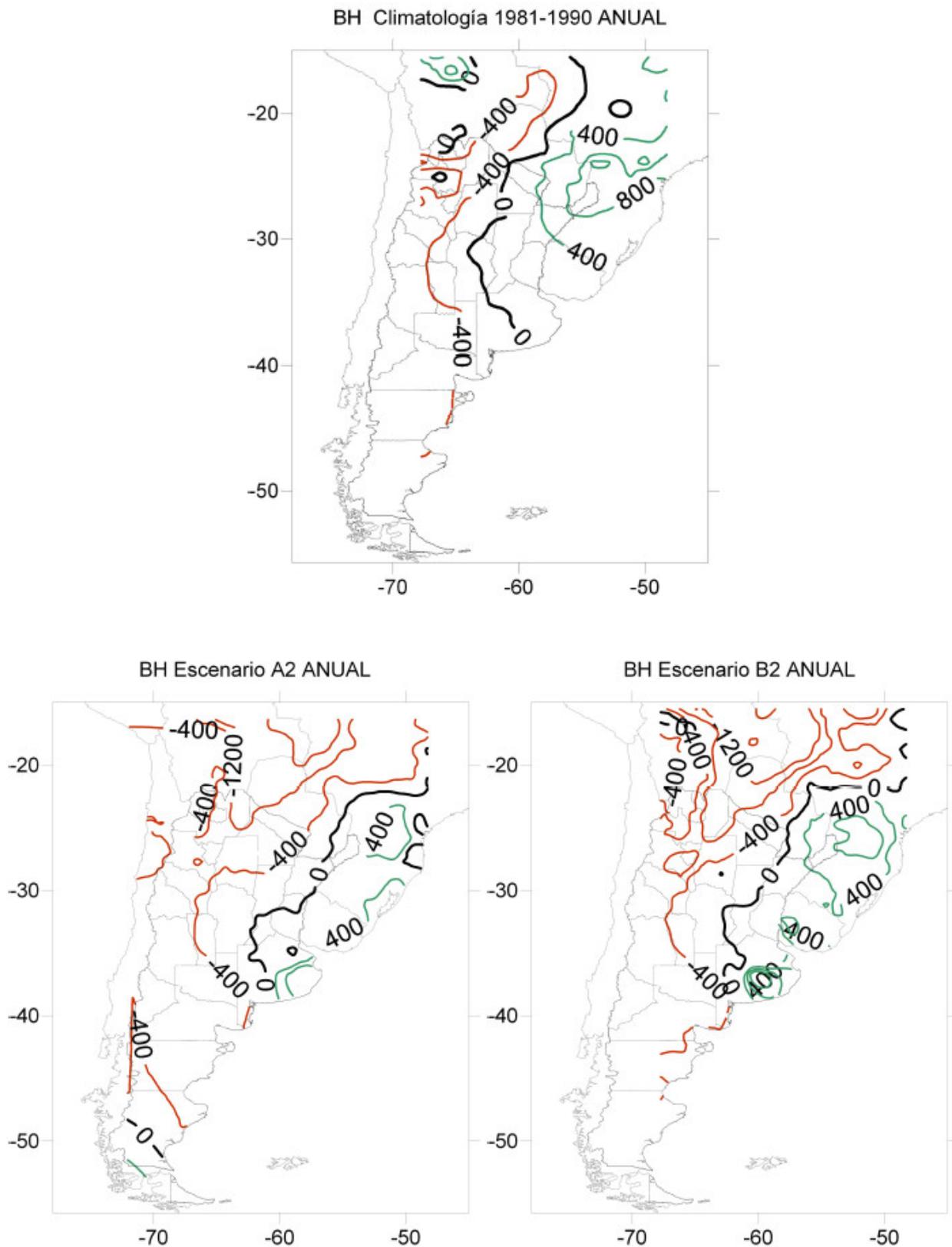


Figura 3: Disponibilidad hídrica anual (mm) para CTL (panel superior) y para los escenarios A2 (panel inferior izquierdo) y B2 (panel inferior derecho). Las líneas verdes (rojas) representan excesos (déficits). Los contornos se muestran cada 400 mm. Capacidad de campo utilizada de 250 mm.

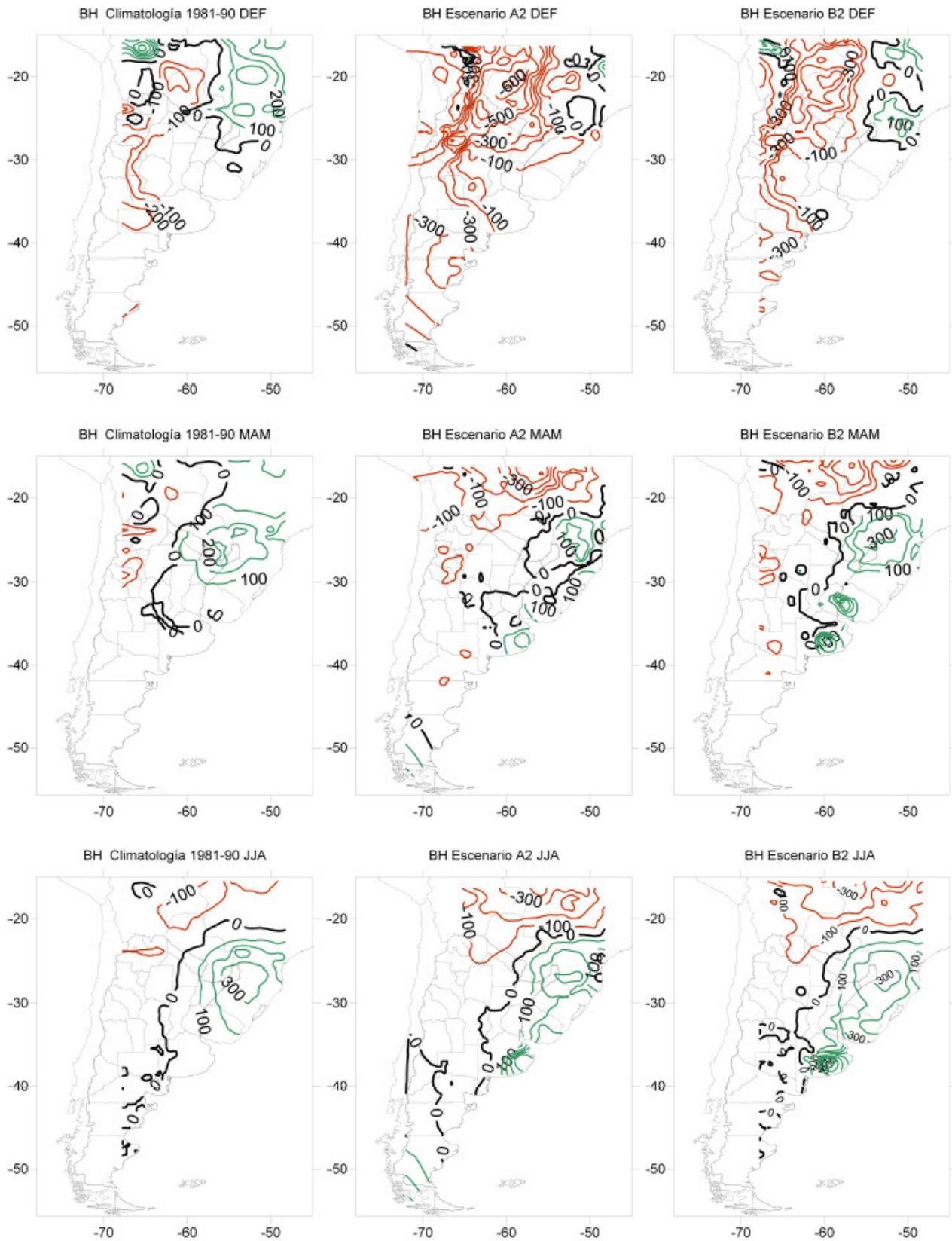


Figura 4: Disponibilidad hídrica (mm) para DEF (panel superior), MAM (panel central) y JJA (panel inferior). Los paneles izquierdos representan a CTL, los centrales a A2 y los derechos a B2. Las líneas verdes (rojas) representan excesos (déficits). Los contornos se muestran cada 100 mm. Capacidad de campo utilizada de 250 mm.

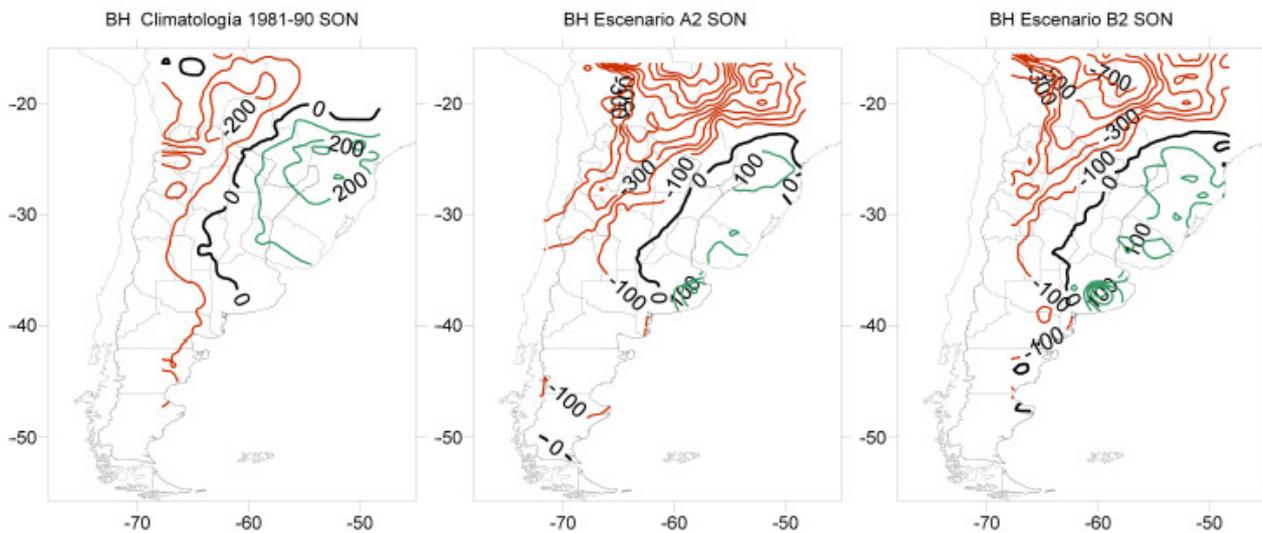


Figura 4 (cont): Disponibilidad hídrica (mm) para SON. El panel izquierdo representa a CTL, el central a A2 y el derecho a B2. Las líneas verdes (rojas) representan excesos (déficits). Los contornos se muestran cada 100 mm. Capacidad de campo utilizada de 250 mm.

invierno.

El cálculo de la disponibilidad hídrica también fue realizada para los valores anuales y estacionales, tanto para CTL como para cada uno de los escenarios A2 y B2.

La figura 3 muestra la disponibilidad hídrica anual para CTL (panel superior) y para los escenarios A2 (panel inferior izquierdo) y B2 (panel inferior derecho). La disponibilidad de agua en el suelo anual se verá sustancialmente disminuída en la zona noroccidental de Argentina subtropical, donde los déficits se triplican especialmente al norte de 30° y más sensiblemente en el escenario A2.

La figura 4 muestra la disponibilidad de agua en el suelo en cada una de las estaciones del año: verano (panel superior), otoño (panel central superior), invierno (panel central inferior) y primavera (panel inferior). La disminución de agua observada a nivel anual en la zona noroeste también se presenta en cada estación, aunque los déficits son visiblemente más importantes en primavera y verano. En el caso de verano, sobre todo en el escenario A2, la totalidad de Argenti-

tina subtropical presenta una disminución de la disponibilidad de agua y el área de exceso se reduce notoriamente y queda limitada a la zona sur de Brasil.

Con respecto a la zona noreste de Argentina subtropical, Uruguay y sur de Brasil, caracterizada por excesos hídricos anuales, se observa una leve disminución del área con excesos sobre todo en el escenario A2, quedando limitada al sector este.

Esta reducción se observa en todas las estaciones, salvo en el invierno en ambos escenarios. El escenario A2 es el que produce las reducciones de excesos más importantes sobre esa área.

Las figuras 5 y 6 son resultados de la validación realizada con datos observados. La figura 5 muestra la disponibilidad hídrica anual calculada utilizando datos observados. En ella puede observarse que la forma del campo es similar a la provista con datos del modelo y mostrada en la figura 3 (panel superior). La diferencia entre la disponibilidad hídrica calculada con datos observados y la calculada con datos provenientes del modelo (en mm) se observa en la Figura

6. Los valores positivos (negativos) corresponden a puntos donde el modelo subestima excesos o bien sobrestima déficits (sobrestima excesos o subestima déficits). Las mayores diferencias se encuentran hacia el oeste y hacia el este, siendo el centro de la región, la zona con menores diferencias. Teniendo en cuenta las zonas con excesos y déficits detalladas en las figuras 3 y 5 se puede observar que el modelo subestima los déficits en el oeste, sobrestima los excesos en el noreste y subestima los excesos en la región de Uruguay y este de Buenos Aires. Los campos diferencia para cada una de las estaciones del año también reflejan esta situación (figuras no mostradas). La fuente de error radica en la dificultad que tiene el modelo para representar variables, especialmente complejas como la precipitación. Además cabe aclarar que las mediciones de precipitación observada también presentan los típicos errores propios de la medición. Puntualmente las diferencias en mm pueden ser grandes debido a la inhomogeneidad de la lluvia,

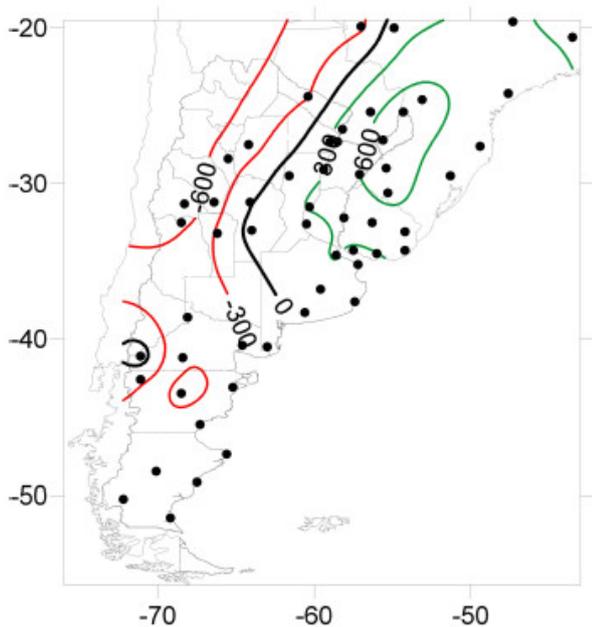


Figura 5: Disponibilidad hídrica (mm) anual calculada utilizando datos observados en 45 estaciones de medición y aplicando a los mismos la técnica TM. Las estaciones se detallan en el gráfico. Las líneas verdes (rojas) representan excesos (déficits).

sin embargo el modelo acierta en representar la forma de los campos correctamente.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se calcularon las disponibilidades hídricas del suelo para la climatología presente (1981-1990) y futuras (2081-2090) bajo condiciones de los escenarios A2 y B2. En todos los casos se utilizaron la temperatura y la precipitación simuladas por el modelo regional MM5 obtenidos de Solman et al (2007) y Nuñez et al (2008). Los resultados muestran que la disponibilidad de agua en suelo se reduce en forma significativa sobre el noroeste argentino, principalmente en primavera y verano mientras que sobre la región del noreste de Argentina, Uruguay y sur de Brasil, el área con excesos se reduce marcadamente en verano, aunque se registran pocos

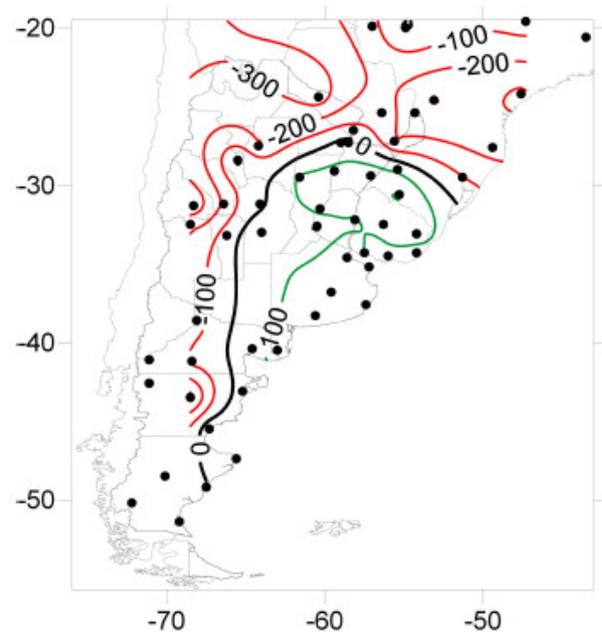


Figura 6: Diferencia entre el valor de disponibilidad hídrica calculado con datos observados en estaciones y con datos derivados del modelo (mm). Los valores positivos, línea verde (negativos, línea roja) corresponden a puntos donde el modelo subestima excesos o bien sobrestima déficits (sobrestima excesos o subestima déficits). Las estaciones donde se realizó la comparación se detallan en el gráfico.

cambios en invierno. En todos los casos ambos escenarios presentan el mismo patrón pero el escenario A2 es el que muestra cambios cuantitativamente mayores. Estos resultados están afectados por diferentes fuentes de error: los errores propios de las simulaciones de temperatura y precipitación, la simplificación que representa la utilización de TM y la homogeneidad supuesta en la capacidad de campo del suelo. Sin embargo, los cambios encontrados son orientativos y muestran una tendencia que debería tenerse en cuenta sobre todo en la región donde la actividad agrícola-ganadera es predominante. Una disminución en la disponibilidad hídrica actual podría derivar en menores rendimientos de los cultivos y teniendo en cuenta los posibles cambios a futuro este efecto negativo podría mitigarse con prácticas agrícolas adecuadas.

Agradecimientos: Al Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, por la provisión de las salidas del modelo MM5, en particular a la Dra. Silvina Solman. Este trabajo fue subsidiado por los proyectos: UBACyT 2010-2012 CC02, UBACyT 2011-2014 1028 y CONICET PIP 112-200801-00195.

REFERENCIAS

- Caya, D. y Biner, S., 2004. Internal variability of RCM simulations over an annual cycle. *Clim Dyn* 22:33–46.
- Ferrero, V., González, M.H., Serio, L. y Hurtado, R., 2009. La situación hídrica de los últimos 30 años sobre la región pampeana argentina, Estrategias Integradas de Mitigación y Adaptación a los Cambios Globales. Editores: Fernández Reyes, Volpedo y Carreras. 16. PIUBACC y CYTED. 163-174. Buenos Aires. Argentina.
- Figuroa, S., Satyamurti, P. y Silva Dias, P.L., 1995. Simulation of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. *J AtmosSci*, 52,1573–1584.
- Giorgi, F., Bi, X., Pal, J., 2004. Mean, inter-annual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe I. Present day climate (1961–1990). *ClimDyn* 22:733–756.
- González, M.H., y Fernández A.E., 2007: "Floods increasing in Buenos Aires Salado River Basin", Environmental change and rational water use. Eds. Olga Scarpatti and Anthony Jones. Orientación Gráfica Editora. 458p. 96-113 pp.
- González, M.H. y Nuñez, M.N., 2007. Escenarios futuros en la pampa bonaerense en Argentina. *Revista Digital Universitaria*, Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (<http://www.revista.unam.mx/ejemplares.html>). Volumen 8, N° 10.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of working group II to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change. Edited by IPCC, Cambridge University Press, UK, 1032 pp.
- Lee, S.J. y Berbery, E.H., 2011. Land cover change effects on the climate of La Plata Basin. *J. Hydrometeor.* En prensa
- Menéndez, C.G., Cabré, M.F., Solman, S.A. y Nuñez, M.N., 2003. Regional climate simulation over southern South America using MM5. In: 7th international conference on southern hemisphere meteorology and oceanography. *Am Met Soc*, Wellington, New Zealand, pp 59–61.
- Nicolini, M., Salio, P., Katzfey, J., McGregor, J.L. y Saulo, A.C., 2002. January and July regional climate simulation over South America. *J Geophys Res* 107(D20) doi: 10.1029/2001JD000736.
- Nuñez, M., Solman, S. y Cabré, M.F., 2008. Mean climate and annual cycle in a regional climate angeexperimento over southern South America. II: Climate change scenarios (2081-2090). *ClimDyn* DOI 10.1007/s00382-008-0449-8.
- Raisanen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Doscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E., Samuelsson, P., Willen, U., 2004. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with twodriving global

models and two forcing scenarios. *Clim Dyn* 22:13–31.

Solman, S., Nuñez, M. y Cabré, M.F., 2007.

Regional climate change experiments over southern South America. I: present climate. *ClimDyn* DOI 10.1007/500382-007-0304-3

Sorensson A. y Menendez C., 2010. Summer soil-precipitation coupling in South America. *Tellus*. DOI: 10.1111/j.1600-0870.2010.00468.x

Thornwaite, C. y Matter, J., 1955. *The Water Balance*, on Publications in Climatology VII, Drexel Ins. Of Tech., New Jersey, USA, 104 pp.