

ARTÍCULO

ESCENARIOS FUTUROS EN LA PAMPA BONAERENSE, EN ARGENTINA

Dra. Marcela H. González y Dr. Mario N. Nuñez

CIMA - CONICET UBA

gonxalez@cima.fcen.uba.ar

mnunez@cima.fcen.uba.ar

ESCENARIOS FUTUROS EN LA PAMPA BONAERENSE, EN ARGENTINA

Resumen

El presente trabajo presenta una comparación entre la situación actual de disponibilidad de agua en el suelo, representada por la climatología 1965-2000 y la prevista para la década 2081-2090, en dos escenarios distintos: A2 y B2. Estos escenarios fueron derivados de la aplicación del modelo climático regional MM5-CIMA. Se focalizaron los resultados en la zona de la pampa bonaerense en Argentina, un área típicamente agrícola-ganadera con gran relevancia económica, altamente dependiente del clima. Los resultados muestran una tendencia hacia excesos hídricos más significativos durante las épocas frías mientras que los déficits parecen acrecentarse en verano.

Palabras claves: clima, escenarios futuros, Argentina, precipitación, evapotranspiración

FUTURE SCENARIOS IN BUENOS AIRES PLAINS, ARGENTINE.

Abstract

This paper shows a comparison between water availability in soils observed nowadays and represented by the climatological values 1965-2000 and the same water availability forecasted for 2081-2090, using two different scenarios: A2 and B2. This scenarios were derived from a regional climatic model (MM5-CIMA). Results were detailed in Buenos Aires plains, an agricultural area with an important economic relevance but highly climate dependent. Results show a tendency to greater water excess in winter and enhanced water deficits in summer.

Key Words: climate, future scenarios, Argentine, rainfall, evapotranspiration

INTRODUCCIÓN

El clima es el resumen, desde el punto de vista estadístico, de las variables meteorológicas (temperatura, precipitación, viento, humedad, entre muchas otras que podríamos mencionar) en un determinado lugar. Este resumen tiene en cuenta todos los valores que tomaron dichas variables en un período suficientemente largo de tiempo y por supuesto, incluye las situaciones extremas que hayan ocurrido. Valores cercanos al valor medio o "promedio" ocurren muchas veces y en la medida que los valores se alejan de este promedio su frecuencia es menor hasta que su ocurrencia esporádica hace que se los denomine "extremos". El clima no ha sido siempre el mismo a lo largo de la historia de la tierra, sino que se encuentra en permanente cambio. Las causas de sus variaciones pueden ser naturales y/o antropogénicas pero se sabe que a partir de la revolución industrial a fines del siglo XIX, la liberación de gran cantidad de gases de invernadero, derivados de la industrialización, ha aumentado sustancialmente. Como estos gases son buenos absorbedores de radiación infrarroja, actúan como el vidrio de un invernadero, aumentando la temperatura del aire efecto conocido como "calentamiento global".

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), está formado por científicos de distintos países cada uno de los cuales expone los avances obtenidos por su país en el monitoreo del cambio climático. En marzo de 2007 dio a conocer el último informe (IPCC, 2007), donde el principal resultado es la afirmación unánime de que el calentamiento global es indiscutible y evidente con las observaciones. En el mismo se destaca que el aumento de temperatura global en los últimos 100 años de 0.74°C mientras que en los últimos 50 años este valor asciende a 1.2°C, de forma que los 12 años más cálidos de los últimos 100 han ocurrido desde 1990 hasta la actualidad. Este aumento no ha sido parejo sino que es más acentuado en tierra que en agua y se ha observado que el calentamiento del Ártico duplica al global. El nivel medio del mar aumentó a razón de 1.8 mm por año desde 1961 hasta 2003 pero desde 1993 hasta 2003 lo hizo en promedio 3.1 mm por año, totalizando un aumento en el siglo XX de 17cm.

La precipitación también ha sufrido variaciones. Mientras algunas zonas han experimentado un aumento de la cantidad de lluvia caída (Norte y Sudamérica, norte de Europa, norte y centro de Asia), otras han decrecido la precipitación acumulada (Sahel, Mediterráneo, sur de África, sur de Asia), observándose como rasgo principal un importante decrecimiento de la lluvia en los continentes tropicales.

El informe indica que muchos sistemas físicos y biológicos ya han sido afectados por este cambio (la disminución de los glaciares, la declinación de ciertas especies animales y vegetales, entre otros) como así también muchas comunidades, especialmente las más pobres que son las más vulnerables, han sido afectadas tanto social como económicamente. Una propiedad importante de este cambio es su globalidad, es decir que afecta a todo el planeta. Sin embargo, las características regionales del cambio climático, son de especial interés. En Argentina muchos son los estudios que se están realizando relativos a los cambios que ya se han observado en el comportamiento de la precipitación en diferentes regiones de Argentina (Barros et al, 2006, Minetti et al, 2003, Barros y Doyle, 1996). Se ha observado un aumento significativo en el total de precipitación anual en la pampa húmeda durante la última mitad del siglo XX que supera el 20% en los últimos 40 años. Las zonas semiáridas han sido beneficiadas por una expansión agrícola de alrededor de 200 km hacia el oeste que las convirtió en cultivables, mientras que existen zonas al oeste de la provincia de Buenos Aires que están inundadas casi en forma permanente. En contraposición se han presentado sequías importantes como las que dominaron a La Pampa y sur de Buenos Aires los últimos años. Es cierto que se ha observado un incremento en la lluvia en algunas zonas de Buenos Aires, por ejemplo se detectó un cambio desde 600 mm hasta más de 1000 mm en el oeste de la provincia de Buenos Aires y como consecuencia la frontera agronómica se desplazó significativamente (Castañeda y Barros, 1994, 2001). De igual forma, Minetti y Vargas (1998) observaron un cambio en el régimen de precipitación en un área más extendida de Sudamérica al este de Los Andes. Sin embargo la variabilidad interanual es grande y los períodos húmedos son normalmente seguidos de épocas secas, como ocurrió en el 2003 y más recientemente en el 2005 en el sur y oeste de Buenos Aires. Esta variabilidad interanual también parece haberse modificado en los últimos 100 años. Penalba y Vargas (1996) detectaron que los años secos se produjeron predominantemente antes de 1940 mientras que los húmedos tienen una distribución temporal más homogénea a lo largo del siglo.

El estado del arte sobre climas futuros reconoce que los modelos climáticos complejos con una detallada representación de la atmósfera, el océano y la superficie de la tierra son la única herramienta con la que es posible proyectar cambios en el clima medio y los extremos climáticos en forma independiente. Es importante señalar que, los escenarios futuros de cambio climático se construyen con Modelos Climáticos de Circulación General que, al ser globales, no permiten detallar los cambios a nivel regional. Existe una técnica que permite "regionalizar" los resultados provistos por estos modelos globales, de manera

de tener resultados más representativos a escala geográficamente menores, como extensión de resultados para escalas mayores. En la actualidad, uno de los principales enfoques de la actividad científica, es mejorar el conocimiento sobre los mecanismos que expliquen cómo el cambio climático global puede ser trasladado a escalas regionales. Por ello se hace necesario aplicar técnicas de regionalización o modelos regionales para conocer con cierta exactitud lo que podría llegar a ocurrir a nivel local. Numerosos estudios en otras partes del mundo han sido aplicados utilizando esta metodología para, en primer lugar, evaluar la confiabilidad de las proyecciones regionales, y, en segundo lugar, estimar el cambio climático a nivel regional, tanto en lo que respecta a las medias como a la variabilidad (Giorgi et al. 2004a; Giorgi et al. 2004b, Bell et al. 2004; Raisanen et al. 2004). En el marco de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, se realizaron en el CIMA (Argentina) simulaciones con un Modelo Climático Regional de última generación (MM5/CIMA) con el fin de estimar el cambio previsto para la climatología futura de la década 2081-2090 en base a dos escenarios futuros de emisión (SRESA2 y SRESB2, IPCC) con una resolución espacial de 50 km. Solman et al 2007, Nuñez et al 2006). El escenario A2 es el más crítico, siendo el B2 más moderado. En general, los modelos regionales coinciden en que el mayor calentamiento se producirá en el noroeste argentino especialmente intenso en otoño e invierno durante el presente siglo. Con respecto a la precipitación, los modelos proyectan que durante el verano las lluvias tenderán a disminuir al oeste y sur y aumentarán en el noreste del país mientras que en invierno, la zona norte tendrá mayores precipitaciones, al igual que el sur de la Patagonia y en la zona de Cuyo y norte de la Patagonia se producirá una disminución de la lluvia.

La pampa bonaerense es una región casi horizontal donde la pendiente media es de 0.25 por mil decreciendo en altura desde el oeste hacia el este. La lluvia tiene pocas posibilidades de escurrir superficialmente y por lo tanto la transferencia vertical (evaporación-infiltración) resulta más importante que el escurrimiento superficial y debido a ello la zona se inunda 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. Debido a los suelos fértiles y las bondades del clima, la economía de la región está plenamente relacionada con la actividad agrícola-ganadera, la cual depende en gran medida del clima y de su variabilidad interanual. Por ejemplo, es notable la diferencia de rendimiento en años en que la lluvia ha llegado después de lo normal, como ha ocurrido durante 2005, en el cual la campaña de trigo ha producido rindes muy inferiores a los del año anterior. Es por lo tanto de vital importancia, establecer en que medida el régimen de lluvias y la posibilidad del suelo de retener la humedad se han modificado a lo largo del último siglo. En este trabajo se evalúan las posibilidades futuras de disponibilidad media de agua en el suelo, teniendo en cuenta las proyecciones pronosticadas por el modelo climático regional MM5/CIMA para la década 2081-2090.

DATOS Y METODOLOGÍA

Para obtener los resultados de la presente actividad se han utilizado 18 estaciones de la red meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional. La ubicación de las mismas se puede observar en la figura 1. Se evaluó la calidad de la información disponible y luego de un control de calidad se seleccionaron aquellas estaciones con menor cantidad de datos faltantes y mayor cantidad de años de registro.

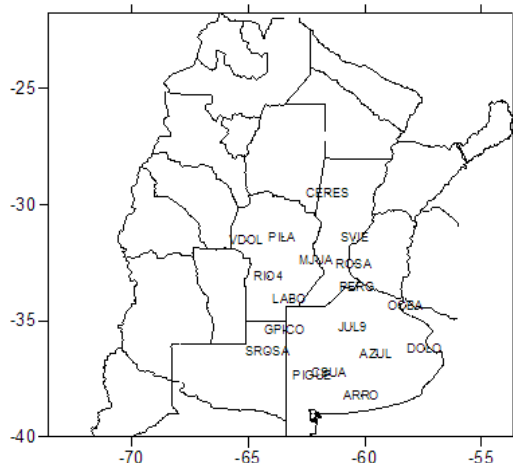


Figura 1: Estaciones utilizadas en el estudio

Para el cálculo de los balances hídricos fue utilizada la técnica de Thornwaite y Matter (1955) (TM, en adelante). Aunque TM sea una metodología generada varias décadas atrás, produce resultados muy buenos con un manejo matemático relativamente sencillo. Por cierto, aplicado a valores mensuales no está prácticamente afectado por errores comprometedores en la interpretación de los fenómenos hídricos (Vargas, 1977). Muchos de los nuevos métodos necesitan información proveniente de mediciones más sofisticadas que las que provee la red de medición del Servicio Meteorológico Nacional. Otros son sólo modificaciones de TM y su análisis detallado está fuera de las metas de este estudio. Otros autores han hecho uso de esta técnica en épocas recientes por ejemplo en Brasil Rossato et al. (2004) estudiaron la variabilidad espacial y temporal de la humedad del suelo, y en Argentina Spescha y Forte Lay (2002) y Spescha et al (2004) han realizado el balance hídrico en la región pampeana con el fin de relacionarlo con ambas fases del fenómeno ENSO.

En este trabajo y siguiendo el método de TM, la disponibilidad de agua en el suelo se calculó considerando a la evapotranspiración real como sumidero y a la precipitación como fuente de agua y teniendo en cuenta la capacidad de cada suelo para almacenar agua de un mes a otro. La evapotranspiración potencial fue calculada teniendo en cuenta la temperatura media mensual y corregida en base al número de horas de luz correspondientes a cada época del año, computando la expresión:

$$E_j = 16 \cdot (10T_j/I)^a$$

donde:

E_j : evapotranspiración potencial para el mes j con 12 horas de heliofanía

T_j : Temperatura media mensual del mes j

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 0,01792 I + 0,49239$$

I: índice calórico anual que se calcula como la suma de los 12 índices calóricos mensuales (i_j):

$$I = \sum i_j$$

$$i_j = (T_j/5)^{1,514}$$

Posteriormente se calcula el almacenaje de agua útil para el mes j con la expresión:

$$A_j = A_{j-1} + P_j - E'_j$$

Donde A_{j-1} = Almacenaje de agua el mes anterior

E'_j = evapotranspiración potencial corregida por heliofanía para el mes j.

P_j = precipitación del mes j

El almacenaje de agua en el suelo depende de la capacidad de campo del mismo y permite calcular la evapotranspiración real, que sólo será igual a la potencial cuando la lluvia la exceda. Luego la evapotranspiración real (ER) para cada mes se calcula como:

$$ER_i = E'_i \quad \text{si } P_i > E'_i$$

$$ER_i = P_i + (A_i - A_{i-1}) \quad \text{si } P_i < E'_i$$

La diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real es el déficit o el exceso de agua en el suelo.

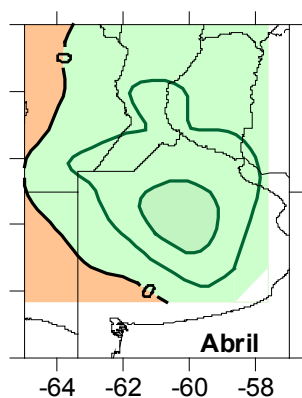
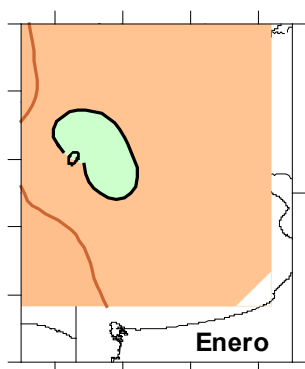
RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Climatología actual de disponibilidad de agua en el suelo

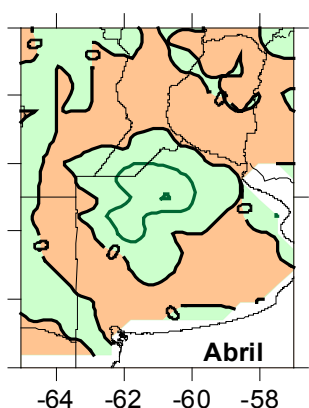
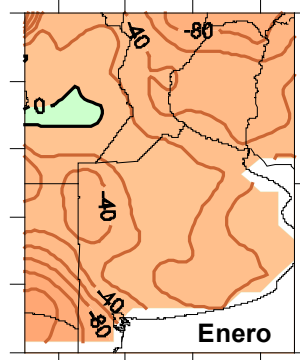
Para cada estación (fig 1) se calculó la evolución de la precipitación y temperatura media mensual durante el período 1965-2000. Con estos datos climatológicos se elaboró un balance hídrico climático para cada estación, obteniendo evapotranspiración potencial, excesos y déficit mensuales medios utilizando TM. Las capacidades de campo utilizadas para cada estación se obtuvieron de la facultad de agronomía (atte. Ing. Alvaro Lamas, comunicación personal).

La evolución anual de la temperatura muestra que los mínimos valores medios se observan en Julio con 8° C hacia el Sur de la región de estudio, mientras que los máximos medios se observan durante el mes de Enero en el Norte de la región con un máximo medio de 25° C. La evolución de los patrones espaciales de lluvia muestra la existencia de un ciclo anual caracterizado por inviernos donde la precipitación desciende marcadamente de este a oeste y un período estival donde la lluvia se incrementa desde el sur hacia el norte. Los máximos se localizan en la región norte de la pampa bonaerense y se producen en marzo en el noreste de la región de estudio y en diciembre, especialmente localizado en el noroeste. Los campos de evapotranspiración potencial muestran claramente la dependencia de la temperatura, con valores que aumentan hacia el norte en todos los meses del año.

Climatología 1965-2000



Escenario A2



Escenario B2

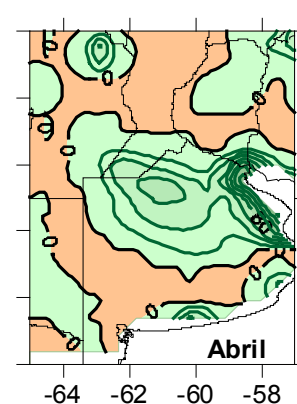
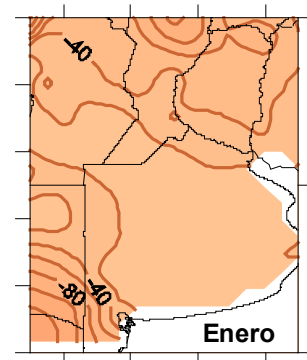
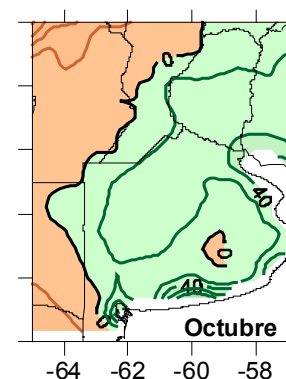
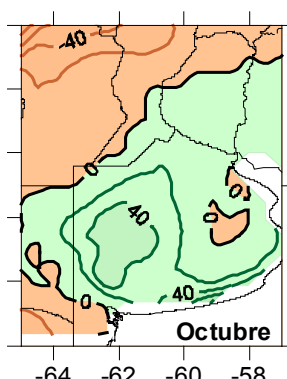
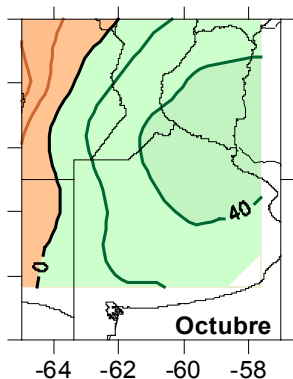
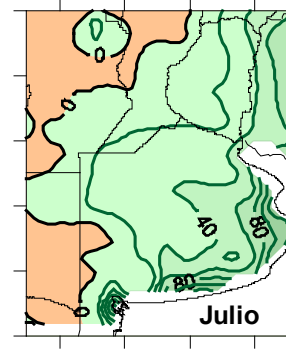
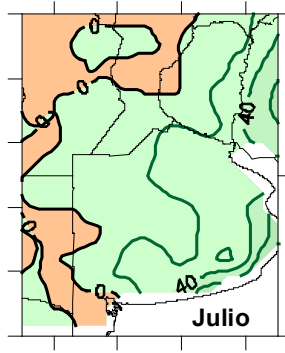
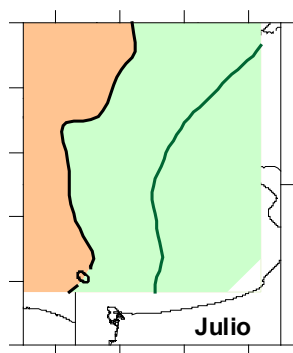


Figura 2. Excesos (positivos, verdes) y déficits (negativos, marrones) hídricos en el suelo estimados con datos de estaciones para el caso de la climatología 1965-2000 (panel izquierdo) y con los valores derivados con el modelo para los escenarios A2 (panel central) y B2 (panel derecho) para la década 2081-2090 en los meses de enero (verano) y abril (otoño). Las líneas están trazadas cada 20 mm.

Climatología 1965-2000

Escenario A2

Escenario B2



2 (cont.). Idem para los meses de julio (invierno) y octubre (primavera).

Los campos de disponibilidad de agua en el suelo (figura 2, panel izquierdo) de agua en el suelo revelan que los déficits tienden a producirse durante los meses de verano cuando las altas temperaturas permiten una mayor evapotranspiración. Por otro lado los excesos son típicamente eventos de invierno donde la evapotranspiración disminuye sustancialmente y las lluvias sobre la región tienden a inundar el suelo. Durante el verano los déficits son mayores hacia el oeste de la región, esto es especialmente visible en los campos de déficit de diciembre, enero y febrero. Los excesos como es de esperar son más intensos en las zonas más bajas. Por ejemplo, son máximos en marzo y abril a lo largo de la cuenca del río Salado, sin embargo, desde mayo hasta octubre tienden a ser mayores hacia la costa atlántica. Es importante notar que los valores de excesos son en general superiores a los déficits, dando como resultado el escurrimiento responsable de los cauces de los ríos. La evolución temporal media de evapotranspiración potencial y precipitación en estaciones individuales muestra claramente que durante el verano en general la evapotranspiración potencial supera a la precipitación generando condiciones propicias para el establecimiento de déficits hídricos. Por el contrario el invierno tiende a tener mayores valores de precipitación que de evapotranspiración potencial, dando lugar a excesos hídricos. Los excesos más intensos se producen en la región noreste y norte de la Pampa bonaerense (Azul, Nueve de Julio, Pergamino, Observatorio Central, Rosario, Dolores) mientras que los déficit dominan en la región sur y oeste (Pilar, Villa Dolores, Santa Rosa).

Disponibilidad de agua en el suelo en los escenarios futuros (2081-2090)

Los escenarios climáticos generados por Solman y otros (2007) para la década 2081-2090, mediante experimentos numéricos, utilizando el modelo climático regional MM5-CIMA fueron aplicados a la región de la pampa bonaerense para estimar futuras condiciones de disponibilidad de agua en el suelo. En términos generales los mismos muestran hacia 2080 un aumento de temperatura media global de 3°C para el escenario A2 y aproximadamente 2.3°C en la situación B2. Con respecto a Argentina las temperaturas tenderán a ser más altas sobre todo en invierno y primavera, con aumento simultáneo de las temperaturas máximas y mínimas. La precipitación por su lado, aumentará en verano en el centro de Argentina y disminuirá en invierno en el norte patagónico, dependiendo del escenario. Siempre se han observado tendencias de precipitación positivas sobre la pampa bonaerense.

Se han utilizado los valores medios mensuales de temperatura y de precipitación acumulada generados por el modelo en ambos escenarios para estimar la situación hídrica climática del suelo en 2081-2090, utilizando la técnica TM. De esta manera los resultados obtenidos podrán ser comparados con aquellos obtenidos en la sección anterior para la climatología actual (1965-2000). Los valores de precipitación acumulada y temperatura media mensual provenientes del modelo para ambos escenarios (A2 y B2) están dados en puntos de un retículo irregular. Para cada uno de ellos se ha realizado el balance hídrico y a posteriori se han elaborado los campos espaciales de excesos y déficits hídricos en el suelo. La figura 2 muestra estos campos para meses representativos de cada una de las estaciones del año en la situación del escenario A2 (fig 2, panel central) y para los datos obtenidos con el escenario B2 (fig 2, panel derecho). En todos los campos espaciales, las áreas con valores positivos están sombreadas en color verde y se corresponden con excesos de agua en el suelo mientras que las marrones representan déficits hídricos (valores negativos). La línea de valor nulo se dibujó en color negro.

La comparación de las situaciones hídricas derivadas de ambos escenarios con la climatología muestra los siguientes resultados sobre la pampa bonaerense. Durante el verano (enero) se observa mayor déficit en los escenarios A2 y B2 en relación a la climatología actual, aproximadamente de igual magnitud en ambos modelos. En el otoño (abril) la climatología actual muestra básicamente exceso con un máximo en el centro de la provincia de Buenos Aires del orden de 60 mm. En la simulación del escenario A2 este exceso resultó menor (20mm) mientras que en B2 se observa un incremento sobre todo en la costa del Río de la Plata, llegando a un máximo mayor de 120 mm. Este efecto puede estar magnificado por un problema de bordes del modelo. Esta situación se repite y se observan excesos de mayor magnitud en los meses de invierno (mayo, junio, julio y agosto) en ambos escenarios. Es decir que, en invierno tenderán a producirse mayores excesos, especialmente en la provincia de Buenos Aires. En primavera (setiembre), comienza a aparecer una zona de déficits en la climatología especialmente en el noroeste de la pampa bonaerense. Este déficit se incrementa sustancialmente en ambas simulaciones especialmente en noviembre y diciembre.

En general los resultados muestran una tendencia hacia mayores situaciones de excesos hídricos en invierno, lo que puede llevar a riesgos de inundación o anegamiento. También se observan mayores déficits hídricos en los veranos correspondientes a los escenarios, tanto A2 como B2, en relación con lo que se registra en la actualidad. Es decir que existen indicios de que las situaciones críticas de inundación en invierno y sequía en verano, se vean reforzadas en el futuro, lo cual obliga a tomar recaudos y acciones con el fin de mitigar los impactos negativos de estos cambios.

BIBLIOGRAFÍA

Barros, V. y Doyle, M. 1996. Precipitation trenes in southern South America to the east of the Andes. Center for Ocean-land-atmosphere studies (COLA). Report 26, 76-80.

Barros, V. y colaboradores. 2006. Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. Vulnerabilidad de la Patagonia Argentina.

Bell J., Sloan L. y Snyder M. 2004. Regional changes un extreme climatic events: A future climate scenario. *J. Climate.*, 17, 81-87.

Castañeda, M. y Barros V. 1994. Rainfall trends in South America, east of Los Andes. *Meteorologica.* 19: 23-32.

Castañeda, M. y Barros V. 2001. Rainfall trends in western Argentina. *Meteorologica.* 26: 5-23

Giorgi F., X. Bi, Pal J. 2004. Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. I. Climate change scenarios (2071-2100). *Clim. Dyn.*, 23, 839-858.

Giorgi F., X. Bi, Pal J. 2004. Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. I. Present-day climate (1961-1990). *Clim. Dyn.*, 22, 733-756.

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.

IPCC, 2007. <http://www.ipcc.ch/>

Minetti, J. y Vargas, W. 1998. Trends and jumps in the annual precipitation in South America south of 15°S. *Atmosfera*, 11: 205-223, Mexico.

Minetti, J.L., W. M. Vargas, A. G. Poblete, L.R. Acuña y G. Casagrande, 2003. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera*, 16, 119-135.

Nuñez, M. y colaboradores, 2006. Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. Vulnerabilidad de la Pampa Bonaerense.

Penalba, O. y Vargas, W. 1996. Climatology of monthly and annual rainfall in Buenos Aires, Argentina. *Meteorological Applications* 3, 275-282.

Raisanen J., Hansson U., Ullerstig A., Doscher R., Graham L., Jones C., Meier H., Samuelsson P. Willén U. 2004. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, 22, 13-31.

Rossato, L.; Santos Alvala, C. y Tomasella, J., 2004. Variación espacio-temporal de la humedad del suelo en Brasil: análisis de las condiciones medias para el período 1971-1990, en *Rev. Brasileira de Met.*, 19 (2), 113-122.

Spescha L. y Forte Lay J., 2002. Impacto de La Niña en la reserva de agua edáfica en la región pampeana, en *Rev. Argentina de Agrometeorología*, 2(1), 81-88.

Spescha L.; Forte Lay J.; Scarpati O. y Hurtado R., 2004. "Los excesos de agua edáfica y su relación con el ENSO en la región pampeana", en *Rev. Fac. de Agronomía*, 24 (2), 161-167.

Solman, S., Nuñez, M. y Cabré, MF. 2007. Regional climate change experiments over southern South America: Part II: Climate change scenarios (2081-2090). *Climatic Change*, en prensa.

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

Vargas, W., 1977. Incidencias teórico-prácticas del balance hídrico y propuesta de una mejor aproximación a la región húmeda argentina. *Publicación del Departamento de Meteorología, FCEN, UBA.*

Agradecimientos.

Al Servicio Meteorológico Nacional de Argentina por la provisión de datos de lluvia y temperatura. Este trabajo fue subsidiado con el proyecto UBACyT X264 (2003).