

elaboración de biocombustibles.

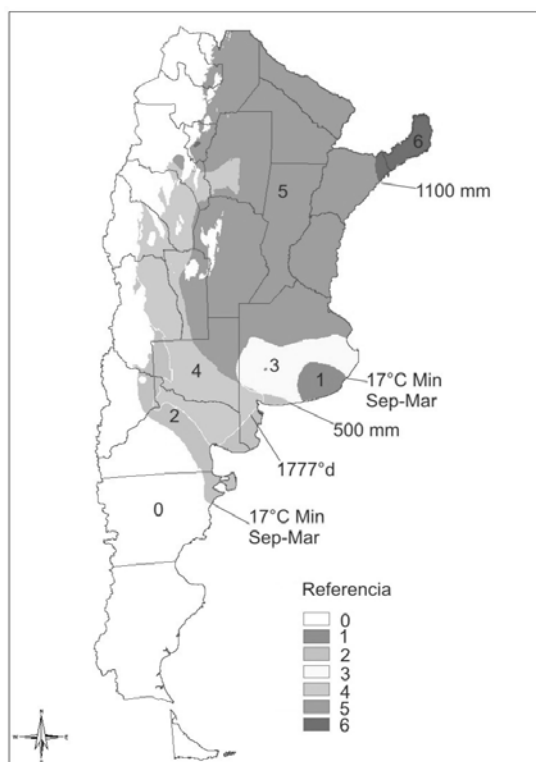
MATERIALES Y MÉTODOS

Para los límites bioclimáticos de los cultivos se realizó una revisión bibliográfica, la cual considera:

Pasto varilla: requerimiento hídrico entre 500 a 1100 mm de precipitación en el ciclo; temperatura óptima entre 17° y 32° C; es una planta de día corto (Ecocrop FAO, 2008). Tiempo térmico hasta emergencia de panícula evaluado para cultivar Alamo 1777° C día, con Tb 10° C (Van Esbroeck y Hussey, 1997). Debido a que la producción de biomasa cesa a partir de la floración, la acumulación de tiempo térmico se contabiliza sólo hasta esta etapa fenológica. Este período ocurre durante los meses de septiembre a principio de marzo en la Argentina (Petruzzi *et al.*, 2005). El período libre de heladas necesario para el crecimiento de este cultivo es de 150 días (USDA, 2008), sin embargo, como este requerimiento se ve satisfecho desde latitudes altas dentro del país, no se lo incorporó a los mapas realizados.

Cártamo: requerimientos hídricos entre 300 mm (López Bellido, 2002) y 600 mm de precipitación en el ciclo (Uslu *et al.*, 2002). El período libre de heladas ronda los 120 días (Oelke *et al.*, 2000). Puede presentarse como una planta de día largo o insensible al fotoperíodo (FAO, 2002). En el norte argentino el ciclo del cultivo es de mayo a diciembre (Esposito, 2006), y en la Región Pampeana, desde agosto a febrero (Martínez *et al.*, 2008). El tiempo térmico necesario para llegar a la maduración es de 1400° C día, con una Tb de 5° C (Miller *et al.*, 2001).

Los datos climáticos utilizados para la determinación de los índices bio y agroclimáticos corresponden a las normales climáticas del período 1971–2000 (Servicio Meteorológico Nacional, 1986, 1992, 2006). Los mapas fueron realizados utilizando el software ArcGIS 9.



RESULTADOS

El área en la que puede cultivarse el pasto varilla como materia prima para bioetanol, está delimitada al sur por la isoterma de 17°C (temperatura mínima media, período septiembre-marzo), y al oeste con la línea de los 1000 m.s.n.m (Figura 1). Dentro de esta amplia área, es posible encontrar una gran diversidad de zonas con distintas aptitudes para el crecimiento de este pasto. Figura 1: Zonificación del pasto varilla. 0: Inapta; 1: Mala 1; 2: Mala 2; 3: Regular 1; 4: Regular 2; 5: Muy buena; 6: Buena.

Para clasificar estas zonas, se jerarquizó el cumplimiento de la menor temperatura dentro del rango óptimo de crecimiento, la suma térmica y el requerimiento en precipitación, en el orden mencionado. Las regiones Mala 1, Mala 2 y Regular 1, están por debajo de la línea de tiempo térmico de

1777° Cdía (Tb 10°C), acumulados hasta emergencia de panícula (septiembre-marzo). La zona Mala 1 está por debajo de la isoterma de 17°C (temperatura mínima media, período septiembre-marzo). Estos hechos indican que en estas regiones hay limitaciones térmicas para el cultivo, es decir, que durante el período considerado, acumularía menor cantidad de biomasa. Las zonas Mala 2 y Regular 2 están por debajo de la isoyeta de 500 mm por lo que, para poder satisfacer sus necesidades en agua, requerirán riego. La zona denominada Buena está por encima de la isoyeta de 1100 mm, es decir, que pueden suceder excesos en el ciclo del cultivo. Por último la zona Muy buena, queda delimitada por todos los requerimientos bioclimáticos necesarios para el óptimo desarrollo de esta producción.

El área para la difusión del cártamo se encuentra limitada hacia el sur por la línea de los 1500°Cdía (Tb 5°C), que es la cantidad necesaria para alcanzar la maduración del fruto y hacia el oeste por la línea de los 1000 m.s.n.m. (Figura 2).

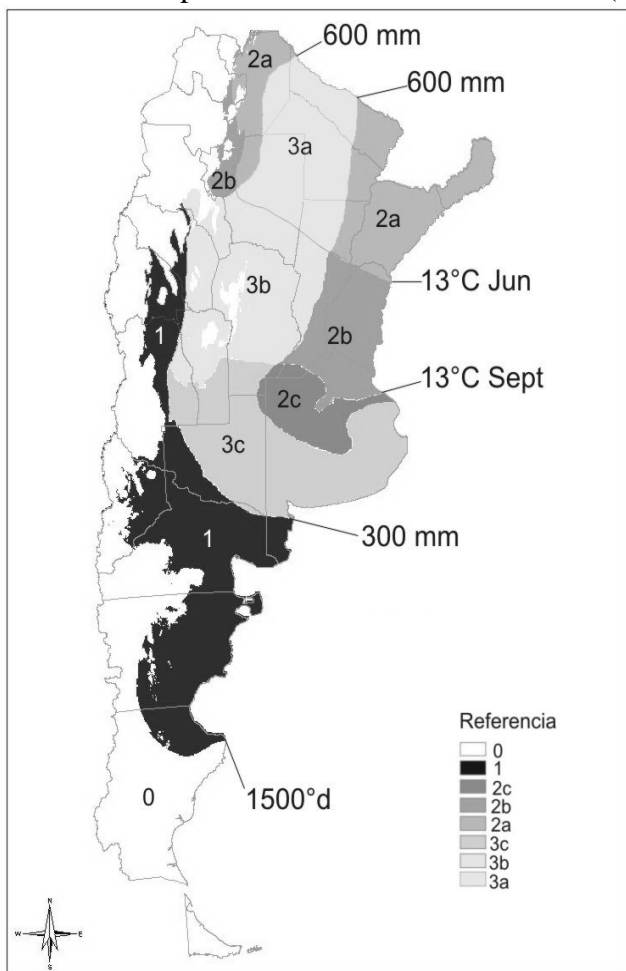


Figura 2: Zonificación del cártamo. 0: Inapta; 1: Marginal por deficiencia hídrica; 2c: Marginal por exceso hídrico, siembra tardía; 2b: Marginal por exceso hídrico, siembra intermedia; 2a: Marginal por exceso hídrico, siembra temprana; 3c: Óptimo, siembra tardía; 3b: Óptimo, siembra intermedia; 3a: Óptimo, siembra temprana.

Dentro de este espacio existen regiones con diversas épocas de siembras y aptitudes para el desarrollo del cártamo, delimitadas por isotermas que establecen la separación de los diferentes ciclos.

La región del norte está limitada al sur por la isoterma de temperatura media de 13°C de junio, aquí se presentan las zonas 3a y 2a. La siembra es temprana, comienza en mayo y se cosecha en diciembre. La zona 3a, considerada óptima, se encuentra entre las isoyetas de 600 mm. La zona 2a corresponde a una región marginal por excesos hídricos. En la parte oriental, a medida que el cultivo se siembra más al este, aumenta la probabilidad de

excesos hídricos perjudiciales. En la parte occidental de la región 2ª, la estacionalidad de las precipitaciones concentran los excesos en los meses cálidos, coincidentes con los últimos meses del ciclo, compensando primero las deficiencias invernales, por lo que sus efectos perjudiciales podrían verse algo atenuados respecto de la región 2a oriental.

Las zonas 3b y 2b pertenecen a la región central, la cual limita al sur con la isoterma de temperatura media de 13°C de septiembre. El ciclo se desarrolla entre los meses de julio a enero. Al oeste se presenta la zona 1, que recibe menos de 300 mm de agua en el ciclo, por lo que, una producción allí debería suplementarse con riego. La zona 3b está delimitada al oeste por la isoyeta de 300 mm y al este por la de 600 mm y es considerada óptima porque en ella se satisfacen los requerimientos térmicos e hídricos. Al este, se localiza la zona 2b, con precipitaciones mayores a 600 mm, con las mismas limitaciones que la región 2a oriental, donde los excesos hídricos reducen significativamente, la producción de aceite de buena calidad.

Por último en la región sur la siembra es tardía; el ciclo se desarrolla entre agosto y febrero. En ella se destaca la zona 3c, la cual presenta precipitaciones entre los 300 y 600 mm, por lo cual podemos clasificarla como zona óptima. Para la zona 2c caben las mismas restricciones por exceso de agua que se mencionaron para 2a y 2b.

CONCLUSIÓN

Los índices bioclimáticos propuestos permitieron establecer zonas con distintas aptitudes para el crecimiento y desarrollo del pasto varilla y el cártamo. Las regiones con diferente aptitud agroclimática quedaron determinadas en las Figuras 1 y 2, respectivamente que, sin embargo, deberían ser ajustadas a nivel edáfico y socio económico para realizar un estudio completo de factibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- ESPÓSITO, A. 2006. Perfil del mercado del cártamo (*Carthamus tinctorius*). *Gacetilla informativa del Sector Agropecuario*. [www.sagpya.mecon.agov.ar]
- FAO. 2002. ECOTROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0. AGLS. FAO. [www.ecocrop.fao.org]
- LÓPEZ BELLIDO, L. 2002. Cultivos industriales. Ed. Mundi prensa. Madrid. 1071pp.
- MARTÍNEZ, E.; RENZI, P.; MATARAZZO, R. y SCHMID, E. 2008. Efectos de la polinización en cultivos de interés apícola e industrial. Proyecto Regional de Apicultura del CERBAS. EE Hilario Ascasubi. INTA, Bs. As.
- MILLER, P.; MCDONALD, C.; DERKSEN, D. and WADDINGTON, J. 2001. The adaptation of seven broadleaf crops to the dry semiarid prairie. *Can. J. Plant Sci.* 81:29–43.
- OELKE, E.; OPLINGER, E.; TEYNOR, T.; PUTNAM, D.; DOLL, J.; KELLING, K.; DURGAN, B. and NOETZEL, D. 2002. Safflower. *Alternative Field Crops Manual*. [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/safflower.html]
- PETRUZZI, H.; CASTRO, M.; GONZÁLEZ, H.; RUIZ, M. y STRITZLER, N. 2005. Determinación de fecha óptima de cosecha de *Panicum virgatum*. Investigación en Producción Animal 2004. Región subhúmeda y semiárida pampeana. EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”, INTA, *Boletín de Divulgación Técnica* 88: 28-32.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1986, 1992, 2006. Estadísticas Climatológicas 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000. Buenos Aires. Argentina.
- USDA-NRCS. 2007. The PLANTS Database. National Plant Data Center. Baton

- Rouge, USA. [<http://plants.usda.gov>]
- USLU, N.; TUTLUER, I.; TANER, Y.; KUNTER, B.; SAGEL, Z. and PESKIRCIOGLU, H. 2002. Effects of temperature and moisture stress during elongation and branching on development and yield of safflower. *Sesame and Safflower Newsletter N° 17*: 103-107.
- VAN ESBROECK, G.; HUSSEY, M. and SANDERSON, M. 1997. Leaf appearance rate and final leaf number of switchgrass cultivars. *Crop Science* 37: 864–870

CAMBIOS GLOBALES Y EFECTOS AMBIENTALES EN BOLÍVAR (PAMPA ARENOSA Y VALLE DEL VALLIMANCA), BUENOS AIRES, ARGENTINA

*Global Changes and Environmental Consequences in Bolívar (Pampa Arenosa and
Vallimanca Salado Basin,
Buenos Aires, Argentina*

María Celia García*

Centro de Investigaciones Geográficas CIG-Facultad de Ciencias Humanas. UNCPBA.
Pinto 399. CP 7000. Tandil. Buenos Aires. Argentina
*mariaceliagarcialarramendy@gmail.com.ar

RESUMEN

Con el propósito de analizar casos de migraciones forzadas por cambios globales en Argentina, se seleccionó un caso de estudio dentro de la Pampa Arenosa y Valle del Valimanca-Salado bonaerense; intentando contemplar si existen cambios en el ambiente y adaptaciones a cambios globales, y entre sus efectos corroborar si existieron cambios del comportamiento demográfico poblacional. El presente trabajo aborda tanto al Partido de Bolívar como la ciudad San Carlos de Bolívar en la Provincia de Buenos Aires.

El análisis geomorfológico, climático y sociodemográfico se basó en datos estadísticos de fuentes oficiales, fuentes secundarias; así como en reconocimiento de campo y una encuesta estratificada realizados para analizar el comportamiento demográfico.

El territorio analizado posee riesgosas inundaciones (principalmente sobre el Valle Vallimanca), que se vienen acentuando desde la década de 1970 con ascensos de promedios anuales de lluvias. Desde los comienzos de los años 2000 se vienen presentando sequías muy prolongadas que afectan a humedales, y cambios en los usos del suelo hacia una sojización y al engorde de animales de tipo intensivo.

Las inundaciones de campos durante la década de los años 1980, produjeron pauperización en pequeños y medianos productores rurales, venta y arrendamiento de campos, los que desde finales de los años 1990 dan ingreso a actores como pools de siembra.

La población del Partido muestra un crecimiento negativo entre los dos últimos censos oficiales (1991-2001), con un decrecimiento de -315 habitantes (-1% de variación relativa). En la ciudad cabecera, el decrecimiento no es tan importante debido a que recibe población rural de su área de influencia. La población urbana que emigra es de los barrios céntricos y elige como principales destinos a grandes ciudades (Buenos Aires, La Plata), y ciudades intermedias (Olavarría, Tandil) de Argentina. Prácticamente es insignificante la emigración internacional.

Palabras clave: globalización, inundaciones, usos del suelo, migraciones.

SUMMARY

The aim of this paper is to analyze the Environment Changes and Forced Migrations project (ONU, 2007-2008), argentine examples of population migration in relation with

changes and environmental problems, it choice 3 studies areas: 1) “Pampa Arenosa” and “Depression Valley Vallimanca-Salado”, in Buenos Aires Province; 2) “Patagonia Sur”, in Santa Cruz Province, and 3) “Yungas” in the Salta Province. In all cases, the native population has extinct (or in way to be extinct), to exist changes in environmental characteristics, and its behavior population.

This work is only centralized in the integration of environmental risks and social demographics characteristics into the area situated at Northwest of the Province of Buenos Aires, Argentina. The cases of study are San Carlos de Bolivar city and their department: Partido of Bolivar.

The analysis of geomorphologic, climatic and social demographic data setting done based background and official information, local documents and field surveys. To actual data of population it was 160 stratified inquiries, and their statistic analysis into a Geographic Information System.

The principal environmental risks of area are: is directly affected by floods; exist increase of rain; decrease of the capacity to infiltration during humid periods; has changes in water excesses with anomalies droughts; since 1990 has more frequency of storm and tornados and, into de Salado-Vallimanca basin (at South and Southeast of Partido de Bolivar), the floods over the plain are extremely dangerous.

The socioeconomic development, is directly associated at agriculture (Pampa Arenosa), extensive cattle, feet lot and bee-hive keeper (Vallimanca basin). Railroads no function since 1990 decade, and its roads and routes are affected by floods.

Partido of Bolivar population shows negative grow. Between lust census population, decrease their population (-315 inhabitants), that represent negative 1% in relative variation. Decrease of population is not than important in the San Carlos de Bolivar city. This received must important migration of rural population of itself influence area. The emigration of citizen people shows their principal places to leave: a) greats cities (Buenos Aires, La Plata), b) middle cities (Olavarría, Tandil). Almost is insignificant the international emigration.

Key words: globalization, floods, soil uses, migrations.

INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto Europeo denominado “Migraciones Forzosas y Vulnerabilidad Social ante Problemas Ambientales (EACH FOR MIGRATION)” desarrolla el proceso demográfico directamente vinculado a cambios en la dinámica del ambiente que obligan a la población a desplazarse. Cabe aclarar que en este proyecto marco se focaliza principalmente por el análisis de desplazamientos de los grupos sociales más vulnerables: población pobre (tanto rural como urbana), población aborígen y población que por algún proceso sufre discriminación.

Con el propósito de analizar casos de estudio de Argentina, que representen situaciones de decrecimiento, mortalidad y/o migraciones de la población vinculadas a riesgos naturales y problemas ambientales, se seleccionaron y estudiaron tres áreas del territorio de la Argentina donde la dinámica natural y la construcción social del territorio conllevaran a estos comportamientos demográficos: 1) Pampa Arenosa y Cuenca del Vallimanca-Salado bonaerense; 2) Las mesetas centrales en Patagonia Sur (Provincia de Santa Cruz); Yunga en Sierras Sub Andinas y pie de monte en la Provincia de Salta). En todos estos casos, la población aborígen (o de pueblos originarios), prácticamente se ha extinguido o está en vías de desaparecer, su actual población también cambia su lugar

de establecimiento y, aunque vinculados a diferentes causas (que se enmarcan desde variaciones naturales a consecuencias vinculadas a modificaciones antrópicas), en cada una de estas áreas de estudio existen modificaciones *ambientales* (cuando se afirma ambientales, se está refiriendo a que no se trata sólo de modificaciones climáticas, sino cambios introducidos por el hombre que en definitiva tiene sus consecuencias para la población que vive en el lugar).

El presente trabajo se centra en el análisis e integración de los riesgos ambientales y las características sociodemográficas en el primer caso de estudio seleccionado, cuyo ambiente es de llanura arenosa y valle fluvial con riesgos de inundación (Vallimanca-Salado): Partido de Bolívar y localidad San Carlos de Bolívar, situado al noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Este departamento bonaerense ocupa una superficie de 4.912,16 Km² y su población original se la denomina Pampas (Tello, 1958: 6), o Pampa-Tehuelches (Bayer, 2007); la cual fue desterritorializada o desterrada, y en los términos de Bayer *exterminada* al momento de la consolidación de la denominada Conquista del Desierto que llevara adelante el General Julio A. Roca. Estos pueblos originarios empleaban este ambiente de llanura con pastos, lagunas y ríos como zona para alimentar ganado y quedan como testigos nombres en la toponimia de parajes tanto bonaerense como de la vecina Provincia de la Pampa, los que registran la importancia de estos cuerpos de agua para el manejo del agua en estas extensas llanuras que alternan entre praderas y estepas.

Alrededor de 1920, la población europea constituía la más importante proporción de la población rural en el territorio (que desde 1877 se fundó como Partido de Bolívar). La agricultura fue la principal actividad que dio origen al incremento de centros rurales (como Urdampilleta, Pirovano, Unzué, Hale, entre otras), todos ellos a la vera del trazado del Ferrocarril de 1878 (hoy ex Ferrocarril General Roca o FCGR, que une a la ciudad San Carlos de Bolívar con la Estación Constitución en Buenos Aires).

El medio natural en el que se emplaza el Partido es una llanura con presencia de formas medianosas en el oeste, centro y norte, mientras al sur y sureste se ha labrado un valle fluvial y formas muy deprimidas del terreno (valle del Arroyo Vallimanca, de la cuenca o Depresión del río Salado bonaerense).

Desde finales de los años 1970, en el área se han registrado un aumento de las precipitaciones y una de las consecuencias más importantes son las graves inundaciones que han afectado a la población de la zona rural.

De allí que desde el presente trabajo se intenta asociar ese riesgo ambiental al comportamiento demográfico de su población. Por tanto, se analiza la tendencia en crecimiento y movilidad de la población, tratando de apreciar si existe asociación entre los desplazamientos de la población a cuestiones ambientales.

MATERIALES y MÉTODOS

Se parte de la hipótesis general del proyecto marco, considerando que para el caso del Partido de Bolívar, las inundaciones constituyen un riesgo ambiental que ha sido una causa de migración en la población.

Para caracterizar al medio natural se consideró el análisis de dos componentes principales del geosistema natural: datos climáticos (provenientes de diferentes fuentes estadísticas como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN); el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), y datos de precipitaciones tomados en la Estación de Ferrocarril Bolívar), y morfológicos o de relieve y drenaje del área, analizados a partir

de fotogramas aéreos e imágenes satelitales disponibles, cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar, fuentes secundarias y trabajo de campo.

El análisis de estadísticas climáticas se focalizó principalmente en el incremento de los valores medios de precipitaciones pluviales anuales y mensuales en el área, considerando una serie de 60 años de registros de lluvias ocurridas entre 1944 y el año 2003, y su correlación con el riesgo de inundaciones que afectó a la población de Bolívar.

El análisis del relieve y drenaje a partir de documentos y trabajo de campo, indican principalmente escasa a nula pendiente en terreno, la que impide o retarda el escurrimiento superficial de las precipitaciones.

Los datos de población del Partido de Bolívar y su comportamiento se basaron en datos de los censos oficiales disponibles (1895 a 2001), centrándose el estudio en los datos de los cambios acaecidos entre los últimos censos de Población Vivienda y Hogares del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).

Para la actualización de datos en la escala urbana (localidad de San Carlos de Bolívar), se procedió a trabajar con una delimitación de la ciudad en áreas homogéneas con un equipo de trabajo de profesionales locales, y luego se diagramó, llevo a cabo y analizaron los resultados de una encuesta estratificada acerca de las características sociales (de calidad de vida y características socioeconómicas) y demográficas (atendiendo a movilidad, tiempo de establecimiento, razones de establecimiento, edades de emigrantes, razones de emigración y características de hogares de partida de emigrantes). Este diseño, elaboración y parte del procesamiento de los datos de encuesta se realizó con la colaboración de colegas y alumnos del profesorado de Geografía del Instituto Superior de Formación Docente de Bolívar, dirigido por M. Garcia en el año 2007.

El procesamiento de datos estadísticos a fin de considerar el comportamiento de la población se realizó adecuando datos atributos a una base digitalizada del Partido de Bolívar dentro de un Sistema de Información Geográfica de tipo vectorial. En dicha base digitalizada, junto a alumnos y colegas del E.D.I., se incluyeron capas gráficas de información referidas a geoformas (curvas de nivel), hidrografía superficial (arroyos y cuerpos de agua), rutas, caminos vecinales, traza del ferrocarril; y a fin de analizar estadísticas de población urbana, radiofracciones de censos 1991 y 2001, así como una capa de zonas homogéneas por uso del suelo predominante.

Los datos que resultaron de la encuesta estratificada fueron primero ordenados y analizados en forma estadística, intentando extraer cambios de lugar de residencia en la población a partir de estadística inferencial (García Ferrando, 1992). Por ultimo, se llevó a cabo el análisis geográfico a partir del empleo de Mapas temáticos elaborados en S.I.G.

Finalmente se intenta explicar si a partir de lo analizado se ha encontrado alguna relación entre el cambio ambiental, el riesgo a inundaciones y las causas de migraciones de la población.

RESULTADOS

Componentes del Geosistema natural

En la componente climática y a partir de la serie de estadísticas analizadas se puede establecer que a Bolívar le corresponde un clima templado, y Sub Húmedo. En partes

del año se pueden observar cambios en la humedad lo cual repercute en el nivel (crecidas y estiajes) de sus cursos superficiales y lagunas.

Como elemento que resultante del análisis del presente trabajo se aprecia una evolución ascendente de las medias anuales de precipitaciones fluviales. En ella se observan inclusive picos de precipitaciones extremas, los que alternan con épocas de escasas precipitaciones. Sin dudas, estos análisis conllevan a reinterpretar al trabajo de Ameghino acerca de inundaciones y sequías en la pampa bonaerense. En este trabajo las estadísticas permiten observar que los cambios ocurridos entre 1944 y 2003 son muy profundos e inclusive muy peligrosos cuando hablamos de inundaciones de una zona casi desprovista de desnivel o pendiente del terreno.

Si el análisis se toma desde periodos de 30 años de precipitaciones, se observa que las lluvias no solo aumentan en medias anuales sino que además lo hacen considerando los promedios mensuales. Así para la media mensual de la serie de datos 1944 a 1973, se observa que sólo la media del mes de marzo es superior a 100 mm; sin superar los 120 mm, y el promedio anual de precipitaciones se mantiene en 870 mm. En cambio, si consideramos los promedios mensuales para la serie de años 1974 a 2003, se observa que los promedios mensuales de lluvias son mayores a los 100 mm en siete meses (enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre), aumentando los toques máximos (marzo posee promedios superiores a 120 milímetros, octubre registra 120 mm, y subiendo el promedio medio anual de lluvias a 1022 mm.

El relieve natural del área, así como las modificaciones introducidas por el hombre hacen a una dinámica geomorfológica muy particular del área. Se encuentra caracterizada por tres componentes principales. Dos de ellas acerca de las formas del relieve natural y el patrón de drenaje asociado. En el caso del Valle del Arroyo Vallimanca-Salado, el relieve corresponde a un estado o etapa de erosión fluvial senil y con poca a casi nula pendiente, tanto que es imposible tanto en la cartografía como en la salida al terreno poder delinear el típico valle en forma de "v". En el caso de la Llanura medanosa o Pampa Arenosa, se trata de un terreno casi desprovisto de pendiente con lomadas que corresponden a relictos de un proceso sedimentario continental reciente, con presencia de cubetas de hidrodeflación (Tricart, 1973), aumentadas en profundidad en épocas de sequías y rellenadas con agua en los períodos más húmedos. En la salida de campo del año 2007 se observó que pocos casos de estos cuerpos de agua conforman cuerpos permanentes. Esta zona se encuentra desprovista de cursos de agua superficial. La Llanura de médanos y cuerpos lagunares está situada desde el centro y se continúa por el oeste y norte del Partido hacia los vecinos como Henderson. Es una llanura arenosa, en la que se destacan relieves eólicos que van desde un predominio de médanos longitudinales (dispuestas en el sentido suroeste a noreste), hasta incluyendo formas transversales de tipo barjanes y hasta parabólicas. Entre estos relieves alternan lugares bajos o cubetas de erosión, que en épocas de mayor humedad y precipitación albergan cuerpos lagunares que sólo después de un prolongado período de lluvia, presenta un espejo de agua o laguna libre de vegetación. La zona no tiene delineados valles ni arroyos superficiales, sólo pequeños lagos superficiales se encuentran ocupando depresiones del terreno. Por tanto, el drenaje no está integrado y el relieve se caracteriza por pendientes muy suaves. Prueba de ello es que desde la carta topográfica se ha podido comprobar que la altura del Partido de Bolívar desciende desde escasos 112,5 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), hasta apenas 87,5 m s.n.m., en una distancia de 50 Km. Igualmente, aunque la pendiente es muy suave, durante inundaciones como las ocurridas en la década de 1980, es posible observar (a partir de mapeos obtenidos de

imágenes de satélites), que éstas se producen con mayor duración y permanencia en las zonas más deprimidas y delineadas entre médanos. Un tercer elemento se agrega al relieve, con la introducción de cambios de la mano del hombre que modifica este marco de dinámica natural. Entre ellos figuran tanto los terraplenes construidos para trazar tanto rutas como ferrocarriles (elementos que sobresalen o formas positivas de relieve, que se destacan y hasta producen verdaderos diques en terrenos de escasa pendiente); como las cunetas excavadas a ambos lados de rutas y terraplenes, canales de drenaje realizados por Hidráulica y todo un sistema de canales de descarga de campos particulares (elementos de relieve negativo), verdaderos surcos o canales de drenaje que se introducen en el terreno a fin de aliviar o hacer más rápido el drenaje de aguas en un momento de inundación.

La población.

La localidad de San Carlos de Bolívar es ciudad cabecera del Partido de Bolívar. Fundada en 1878, ocupa un emplazamiento relativamente elevado (dentro de la llanura arenosa) y cercano al que fuera Fuerte de avanzada de la denominada “civilización” hacia el “Desierto” (que en realidad no se trataba ni de un desierto en términos de Geografía Física, ni eran tierras desiertas). Desde fines del siglo XVI el área departamental ya era transitada asiduamente por la población aborígen, que dominaba el arte de criar caballos y ganado, en esta zona que, gozaba de la presencia de agua dulce. En los términos del historiador Bayer, la población autóctona, o los pobladores *auténticos* (como la denominaría Marlo Morgan, 2004), fue diezmada con la avanzada de la “civilización” que “*degollaba y ahorcaba salvajes, para ahorrar en municiones*” (Bayer, 2007, *op cit*).

Con la instalación de la población europea de la gran inmigración comienza a desarrollarse siembras de granos y la instalación de esta población en el área rural. El nacimiento de centros rurales localizados junto al desarrollo del trazado del Ferrocarril Gral. Roca, muestra el florecimiento de la agricultura en el área. Un modelo de Argentina agroexportadora acunaban este florecimiento de agricultores y el crecimiento poblacional entre 1895 a 1914 (163,69%). El crecimiento se continúa para el censo de 1947, a pesar de que en Argentina ya encontramos el marco de un modelo tendiente a sustituir importaciones. Pero se observa un salto con crecimiento negativo para el censo de 1960.

Actualmente la principal actividad rural es agropecuaria, con cría de ganado en forma extensiva, aunque ha sufrido desde fines de los años 1990, un proceso de sojización y desde mediados de los años 2000, de cría y engorde de ganado en forma intensiva (denominado feedlot). Si bien no ha descendido el número de cabezas de ganado de acuerdo a las cifras oficiales de Censos agropecuarios anteriores (excepto en número de novillos), se espera que para el que se realiza en el momento en que se escribe este trabajo, se note una merma en cantidad, mas allá de su redistribución.

Las empresas agropecuarias han disminuido entre los Censos Agropecuarios 1998 y 2002, y desde 2001 al año 2006 el valor de la tierra ha aumentado en un 550% (para el caso de las hectáreas menos favorables, o inundables); mientras que las tierras más altas, han incrementado su valor en un 700% para el mismo período (valores calculados de acuerdo con cotizaciones otorgadas desde la firma de martilleros públicos Madero, Lanusse, Belaustegui y Cía.).

La principal actividad económica en la Llanura arenosa está asociada directamente a la agricultura de la soja. En el caso de la cuenca del A° Vallimanca- depresión del Salado

se ha cambiado de una economía basada en ganadería extensiva a una sojización y ganadería intensiva.

Para la campaña 2006-2007 existían en el Partido de Bolívar 75.000 ha sembradas con soja, mientras que 40.000 ha de superficie sembrada se dividían entre trigo, maíz y girasol (CITAB, 2008).

Las principales consecuencias de estos cambios en usos del suelo son: a) menos necesidad de trabajadores o mano de obra rural; b) decrecimiento del número de cabezas de ganado vacuno (criado en forma extensiva y con pastura natural), c) decrecimiento de las posibilidades de pequeños productores de diversificar sus actividades hacia otros usos (cría de porcinos, cría de aves, cría de colmenas para producción de miel, entre otros), no compatibles con el empleo masivo de herbicidas y productos fumigados que se extienden desde aviones en forma poco selectiva y para mantener la soja, d) incremento del precio o valor de las tierras, que favoreció que pequeños productores del área rural, arrienden sus campos.

Respecto al comportamiento de la población entre censos oficiales consecutivos, se observa que la población del Partido de Bolívar presenta un su momento de gloria junto a la localización de la población inmigrante europea, y luego muestra crecimientos de población con tendencia negativa. El primer descenso en su crecimiento desde 1960 llegando a ser negativo. También en 1970 presenta crecimiento negativo (-2,77% respecto a la población de 1960). Vuelve a repetir este comportamiento tanto en 1991 (-0,97% respecto al censo de 1980). En este descenso en el crecimiento se puede suponer que han tenido un importante peso las inundaciones ocurridas en la década de 1980.

Si bien no se cuenta con datos oficiales acerca de la distribución entre la ciudad cabecera y el área o centros poblados rurales, puede suponerse que también hubo cambios en la distribución de la población entre los censos 1980 y 1991. Este comportamiento si se puede observar a partir de los datos correspondientes a los censos de INDEC 1991 y 2001, en los que se confirma que mientras que la población rural disminuye, en cambio en la ciudad San Carlos de Bolívar presenta un pequeño incremento.

Considerando el análisis de los datos censados a partir de una encuesta estratificada en áreas homogéneas de usos del suelo en San Carlos de Bolívar (durante el año 2007), y su traducción dentro de un Sistema de Información Geográfica desde el cual se obtuvo un mapa, se define que en la ciudad existen tres áreas homogéneas de mayor importancia a fin de considerar el comportamiento migratorio: Área Central o Distrito comercial, Área Central desde el Centro a Periferia y Área Periférica de la ciudad. En una zona central de la ciudad de Bolívar, que corresponde con el Distrito comercial y administrativo (CBD), funcionan edificios de gobierno, establecimientos educativos, bancos, iglesias y la mayor concentración o densidad de comercios de la ciudad. Esta zona es de uso predominantemente comercial sobre el residencial. La población allí censada es población mayor, con bajo número de integrantes por familia censada, y alta a media calidad o condiciones de vida.

En torno a esta zona del CBD, una franja en torno a ella se ha denominado Área Central, de uso predominantemente residencial, donde alternan usos comerciales. La población allí censada corresponde a familias con bajo número de niños o integrantes y alta condiciones o calidad de vida. En esta zona homogénea se ha detectado el principal foco de emigración, el cual de acuerdo a lo que exponen sus familias ocurrió desde 1985 y continuó hasta el año 2002. Exponen como razones de emigración de algún integrante familiar las siguientes: Búsqueda de mejores trabajos, búsqueda de mejores condiciones

de trabajo (3,14% de los casos encuestados totales y 42% de los casos encuestados emigrantes), y para estudios superiores o universitarios. Los principales destinos de esta población emigrante son La Plata, Buenos Aires, Olavarría, Tandil, Azul, Mar del Plata y (con solo dos casos) migraciones internacionales dirigidas a Madrid y Barcelona en España. Quienes declaran familiar emigrante para conseguir mejores condiciones de trabajo enuncian como destino a ciudades ubicadas inmediatamente al Sur de la localidad de Bolívar y a las que se llega en pocas horas (Olavarría y Tandil).

En los casos que se declara como razón de movilidad estudiar en la Universidad (1,85% de los emigrantes), los destinos principales corresponden a ciudades de mayor tamaño como La Plata y Buenos Aires. Los casos de emigrantes a España, son casos de población con nivel educativo Escuela Media completa, y sus razones principales son encontrar un trabajo con mejor remuneración y acceder a mejor calidad de vida. En ningún caso mencionan que estos movimientos de población se encuentren vinculados a inundaciones.

Área de la periferia de la ciudad: se encuentran emplazadas alrededor de las anteriores y extendidas hacia la periferia. Presenta construcciones residenciales de diferentes características habitacionales. Algunas de sus partes incluye: Barrios construidos por operatorias de gobierno o planes desde municipales o de la Provincia de Buenos Aires y /o nacionales; y hasta nuevas construcciones particulares de mediana a baja calidad. Si bien el uso predominante es residencial, aparecen toda una gama de usos correspondientes a servicios, comercios de barrio y hasta talleres que deberían estar radicados en un distrito industrial. La radicación de la población dentro de esta área se realizó entre 1987 hasta 2007 inclusive. Población que antes trabajaba sus chacras o pequeñas propiedades rurales, indican que sufrieron las inundaciones de finales de los años 1980. Sin embargo, quienes provienen desde el campo del área de influencia de Bolívar, indican que recién desde 1990, en *tiempos de estabilidad* (como lo señalaron en 7 de las 48 encuestas realizadas en el área homogénea), hicieron efectiva su residencia en el área debido a que el valor de las tierras les permitió *arrendar* o *vender* sus tierras en forma conveniente como para *venirse a la ciudad*.

Los principales lugares de origen de esta población son centros rurales dentro del Partido de Bolívar (Urdampilleta, Pirovano, Hale y Vallimanca), y le siguen en importancia otros centros rurales de partidos aledaños (Magdala en Pehuajó, Herrera Vega en 9 de Julio).

Zona Periferia externa: Es la zona más heterogénea de la ciudad donde se mezclan usos del suelo urbano, con predios empleados para servicios de la ciudad incluidos el Parque de las lagunas Acollaradas, y donde se registra la localización más reciente de la población.

Dentro de ésta se destaca la zona localizada en la periferia urbana del suroeste de Bolívar (y hasta casi separada de la ciudad por el trazado de la Ruta Nacional 226), se encuentra una zona residencial con importante componente de familias jóvenes, cuyos jefes de hogar poseen nivel de instrucción superior o universitario. Otra de las razones para destacar esta parte de la periferia es la buena calidad de la construcción de sus viviendas, a pesar que en esta zona no se cuenta con la extensión de todos los servicios urbanos. Desde el punto de vista de las migraciones, muchos de los Jefes de Hogar radicados allí, son profesionales que una vez que terminaron sus estudios en otras ciudades, han regresado a Bolívar para trabajar y formar una familia.

En cambio en sectores de la periferia ubicados al norte y noreste, así como al sur-sureste de Bolívar, las condiciones de vida, incluidas las características de los materiales de las viviendas son las peores dentro de la ciudad.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El incremento en el monto promedio de lluvias que se registran entre 1944 a 1973 en el área Partido de Bolívar es de alrededor de 150 mm y en forma coincidente se registran picos de precipitaciones medias mensuales para los últimos 30 años de la serie. Todo ello tiene lugar en un terreno de llanura y valle con nula a escasa pendiente, lo cual condujo a las inundaciones de extremo riesgo de mediados a fines de los años 1980. Sin embargo, en este medio natural la intervención humana juega también un papel favorable al incremento de riesgos. Se trata de los terraplenes sobre los que se construyen ferrocarriles y rutas, así como canales de descarga. Estos canales de drenaje alivianan solo el riesgo de las zonas que intentan desaguar, pero transfieren muchas veces el riesgo a los terrenos más bajos, donde hacen más grave el riesgo a inundación.

A pesar del entorno rural inundable, la ciudad San Carlos de Bolívar se levantó en una zona relativamente alta (topográficamente entre curvas de 90 a 95 metros aproximadamente), sobre una franja de medanos que incluyen a cubetas con lagunas como el conjunto de Acollaradas (hoy en día una de estas lagunas ha sido rellenada), y conforma el corazón de un parque o espacio verde ubicado al norte - noroeste de la ciudad. Si bien se puede observar que las inundaciones afectan a una gran superficie del Partido de Bolívar, y que cuando llueve en forma torrencial partes de la ciudad llegan a inundarse, no todo el conjunto urbano sufre las inundaciones en sus viviendas, sino más bien se sufre las inundaciones por quedar encerrada o sitiada y aislada por las zonas inundadas a su alrededor.

Esto habla de la calidad del emplazamiento de la ciudad cabecera, para lo cual (y al igual que para el trazado del ferrocarril), se tuvo en cuenta el camino de los arreos de ganado de los pampas, quienes no sólo ya pastaban en estas tierras sus animales, sino que acampaban y conocían hasta el último detalle del relieve del lugar y su dinámica.

Prácticamente no quedan descendientes de población original de estas tierras, pero su desaparición no fue forzada por cuestiones ambientales, sino como ya explicáramos por campañas militares y una tendencia de ordenar territorios (donde en nombre de la civilización se destierra).

El esplendor de la población para el Partido de Bolívar cuenta a partir de las cifras oficiales de la historia nacional. Por tanto, es coincidente con el florecimiento de los centros rurales que aparecen vinculados a una población inmigrante (descendiente de europeos) que instauraron en estas tierras actividades de agricultura extensiva, y también vinculada al trazado de las vías del Ferrocarril que convivió con la agroexportación. Sin embargo, luego de un cambio de modelo (hacia la historia económica industrial de nuestro país), y más adelante con un incremento precipitaciones y riesgo a inundación del área, parecen diluir el crecimiento de población esperado.

Debido a que no se contaban con datos actualizados ya que el último censo nacional disponible se realizó hace mucho tiempo (en el 2001), y a que en el momento de materializarse su trabajo de campo, gran parte del Partido de Bolívar se encontraba inundado, se decidió realizar una encuesta estratificada en zonas homogéneas y dentro de la ciudad. Estos datos permitieron no sólo actualizar datos de condiciones sociales de la población sino recabar datos acerca de los movimientos migratorios y sus razones.

Desde el punto de vista de los movimientos migratorios de la población, puede señalarse que desde las inundaciones de la década de 1980 se encuentra una fuerte vinculación de la población rural que emigra hacia la ciudad San Carlos de Bolívar, radicándose en la zona homogénea que se ubica en la denominada para este estudio Área de la periferia de la ciudad. Sus lugares de origen inclusive superan al de pueblos rurales bolivarenses, ampliándose hasta pueblos rurales del área de influencia. Esta zona receptora de población, sin embargo, muestra que la radicación más numerosa ocurre a partir de mediados de los años noventa y principalmente a comienzos de los años 2000, vinculada a procesos económicos de avance de tierras sembradas con soja, menor requerimiento de mano de obra rural, aumento de valor de las tierras y a una causa económico-ambiental, ya que ante el avance de la soja (y sobre todo por los métodos de fumigación que se emplea), y a la cría intensiva de animales, ha ocurrido la pérdida relativa de actores económicos (pequeños y hasta medianos productores agropecuarios), quienes ya no pueden desarrollar otras actividades como la cría de porcinos y apicultura. Respecto a las emigraciones desde Bolívar. La zona expulsora de población es la que aquí hemos denominado Área Central que rodea al CBD. Las familias allí censadas poseen bajo número y buenas condiciones de vida. De acuerdo a lo que exponen, los integrantes de sus familias comienzan a emigrar desde 1985 y el proceso se hace continuo hasta el año 2002. Exponen como causas vinculadas la búsqueda de mejores trabajos, búsqueda de mejores condiciones de trabajo y para realizar estudios superiores o universitarios. Los principales destinos de esta población emigrante son La Plata, Buenos Aires, Olavarría, Tandil, Azul, Mar del Plata y (con solo dos casos) migraciones internacionales (destinos Madrid y Barcelona). A pesar de que estos movimientos comienzan en 1985 (en forma coincidente con las inundaciones), no mencionan en la encuesta a las inundaciones como razones para emigrar desde Bolívar. Por tanto, al considerar las migraciones para el caso de estudio, sólo cabría una fuerte vinculación a movimientos de población forzada por cuestiones ambientales al caso del desplazamiento de población desde áreas rurales a la ciudad, inclusive cuestiones ambientales que son producidas por el hombre (que incluye desde canales de desagüe y hasta avance de la soja con pérdida de cultura en actividades que antes eran posible). Las emigraciones desde San Carlos de Bolívar se vinculan a cuestiones económicas y sociales, a fin de intentar nuevos horizontes y mejorar la calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- AMEGHINO, F. 1981. La Formación Pampeana o Estudio de los terrenos de transporte de la Cuenca del Plata. Buenos Aires – Paris. Argentina.
- BAYER, O. 2007. La Expoliación y Concentración de tierras en la región pampeana desde la Campaña al Desierto. Disertación en Escuela Técnico Agropecuaria. Magdala, Partido de Pehuajó. Argentina.
- CITAB ó CENTRO DE INVESTIGACIONES TERRITORIALES Y AMBIENTALES BONAERENSES, 2007. Informe *sobre Partidos*. La Plata, Bco Pcia de Bs. Aires.
- GARCIA FERRANDO, M. 1992. Socioestadística. Introducción a la estadística en Sociología. Madrid. Alianza Editorial. España.
- INDEC., 1998. Anuario Estadístico de la República Argentina 1997. Buenos Aires. Red Federal de Formación Docente Continua. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación.

- INDEC., 2007. “Evolución de la Población del Partido de Bolívar”. En Partido de Bolívar. Datos disponibles en <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Bolivar-partido>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS (INDEC), 2004. Estimaciones y proyecciones de población. Total del país. 1950-2015, Buenos Aires, Serie Análisis Demográfico N° 30.
- MORGAN, M. 2004. Las voces del Desierto. Barcelona. Editions B.
- TELLO, E. 1958. Toponimia Araucana – Pampa, Santa Rosa, Edición de la Dirección de Cultura La Pampa.
- TRICART, J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Buenos Aires. Colecciones científicas de INTA. Ediciones CONI.
- VAPÑARSKY, C. 1984. “Aportes Teóricos-metodológicos para la determinación censal de localidades”. Buenos Aires. Segunda edición. Cuadernos N- 11. CEUR.

EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS FRENTE A DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Soil evolution in relation to different climatic change scenarios

Olga Susana Heredia*, Carla Pascale y Hernan Mengoni

Cátedra de Edafología, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aites.

*heredia@agro.uba.ar

RESUMEN

Se evaluó el efecto que los escenarios de emisión del IPCC, B1 y A2 pueden tener sobre la evolución de los suelos y su balance hidrológico. Los escenarios climáticos evaluados indican que los cambios en la temperatura y precipitaciones producirán cambios en las propiedades de los suelos y la velocidad con la que estos ocurren. Posiblemente se pierdan suelos Molisoles que evolucionarían a Alfisoles y Ultisoles según las condiciones de equilibrio ecológico final a las que se llegue. Para el Hapludol, la situación combinada de aumento de 3°C en la temperatura y de 10% en las precipitaciones, el exceso de agua sería de 201 mm/año, por lo que la cantidad de agua que atravesara el perfil edáfico en el escenario A2 será menor a la actual.

Palabras clave: edafogénesis, almacenamiento de agua, excesos y déficits de agua, cambio climático

SUMMARY

The effect of the IPCC scenarios of emission B1 and A2, over soil evolution and their hydrological balance was evaluated. The evaluated climatic scenarios indicate that the change in the temperature and precipitations will produce changes in the soil properties and the velocity with which these occur. Possibly Mollisols were lost, and would evolve to Alfisols and Ultisols according to the final ecological equilibrium that arrives. For the studied soil, Hapludol, in the combined situation of increase in 3°C in the temperature and 10% in the precipitations, the excess of water will be of 201 mm/yr, the water quantity that crosses the soil profile in the scenario A2 will be smaller to the current one.

Keys words: soil genesis, water storage, water excesses and deficits, climate change

INTRODUCCIÓN

La temperatura media anual de la República Argentina ha aumentado 1°C durante la última centuria, con similares características en todas las estaciones, siendo un poco superior entre junio y agosto. En paralelo, la frecuencia de heladas ha disminuido (Hulme and Sheard, 1999; Fernández Long *et al.*, 2005; Murphy, 2009). Otros análisis locales indican que, por ejemplo, para el norte del país esta tendencia no es significativa, registrándose sólo cambios positivos en la temperatura mínima. Sierra y Perez (2006), para el noroeste de Buenos Aires, encuentran que no es posible dilucidar si el aumento en las precipitaciones ocurridas en esta zona, sean temporales o

permanentes, constituyen un cambio irreversible o forma parte de un ciclo de larga duración con fases secas y húmedas separadas por períodos de transición. Otros autores han encontrado evidencias sobre el cambio climático en la región oriental de secano de la República Argentina (Specha *et al*, 2009) sobre las variables agrohidrológicas (Serio, 2006).

Barros (2004), señala que el clima tiende a una tropicalización, con una gran frecuencia de tormentas severas, y un alto riesgo de provocar inundaciones. Los modelos climáticos que proyectan el futuro prevén, sin embargo, un estancamiento en el nivel de caída de agua (Camillioni y Barros, 2009).

Con relación a los suelos y teniendo en consideración lo propuesto por Jenny (1941), los mismos son el resultado de la interacción de cinco factores formadores, en los cuales el clima y por consiguiente el ambiente biológico fueron muy importantes en el desarrollo de los suelos de la región pampeana. En consecuencia, una posible variación en los mismos, podría conllevar a una modificación del actual equilibrio que los caracteriza. En el caso de aumento de la temperatura y las lluvias, modificarían el actual equilibrio de los suelos, estos cambios pueden acelerar el tiempo de los procesos químicos y biológicos más rápidamente que los de los tiempos geológicos llevándolos a un nuevo equilibrio en cortos plazos de tiempo.

El efecto del cambio climático ha sido estudiado desde el punto de vista productivo, agroecológico, hidrológico y económico (Seoane, 2009; Leva y Aguiar, 2009), sin embargo pocos han evaluado el efecto que el cambio climático tendrá sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos (Heredia *et al*, 2006).

El suelo es parte del problema como de la solución del cambio climático, por lo que es indispensable apoyar prácticas de uso del suelo que ayuden a mantener y o a mejorar su calidad, aunque existen vacíos de investigación sobre la posible evolución de los suelos del país.

Un aspecto importante del cambio climático regional es la disponibilidad de agua en el suelo. El clima genera, por un lado cambios en las precipitaciones y temperatura y por otro, reflejándose en consecuencia en el contenido de humedad del suelo y el agua disponible para las plantas (Huszar *et al*, 1999). Es así que se considera señalar como un aspecto importante del cambio climático regional, la disponibilidad de agua en el suelo. Por lo señalado precedentemente, este trabajo se plantea como objetivos analizar la posible evolución de los suelos en la región pampeana frente a distintos escenarios de cambios en las precipitaciones y en la temperatura, y calcular los valores de excesos y deficiencias hídricas frente a distintos escenarios de cambio climático.

MATERIALES y MÉTODOS

Para evaluar los efectos que el cambio climático puede tener en los suelos de la región pampeana, se eligieron diferentes escenarios de emisión de CO₂ planteados por el IPCC (2007 y 2008). El cambio de emisiones de CO₂ proveniente de fuentes energéticas y/o industriales para el año 2100, varía desde una disminución del 4% (escenario B1) a un aumento aproximado de 320% (escenario A2), si se compara con lo estimado para el año 2000 para los cuatro escenarios planteados por el IPCC. Estas estimaciones de futuras emisiones se calculan asumiendo que no existe ninguna puesta en práctica de políticas climáticas. La concentración de CO₂ atmosférico aumenta de la concentración del año 1999 (370 ppmv) a una concentración cercana a 550 ppmv en el escenario B1 para el año 2100, y por encima de 830 ppmv en el escenario A2. Asimismo las concentraciones de otros gases invernadero también aumentarían (IPCC, 2007).

Para este trabajo se eligieron como escenarios de estudio el B1 (baja emisión y bajo impacto) y A2 (alta emisión). En el escenario B1 para la región pampeana para el año 2080, se estiman aumentos de la temperatura de 0,9 a 1,2°C y un 3% de incremento en las precipitaciones, mientras para el escenario A2 el aumento de temperatura será en promedio de 3°C (2.9 a 3.7°C) y de 10% en las precipitaciones (Figura 1). Este incremento de 3 °C coincide por lo encontrado por Nuñez *et al.* (2005).

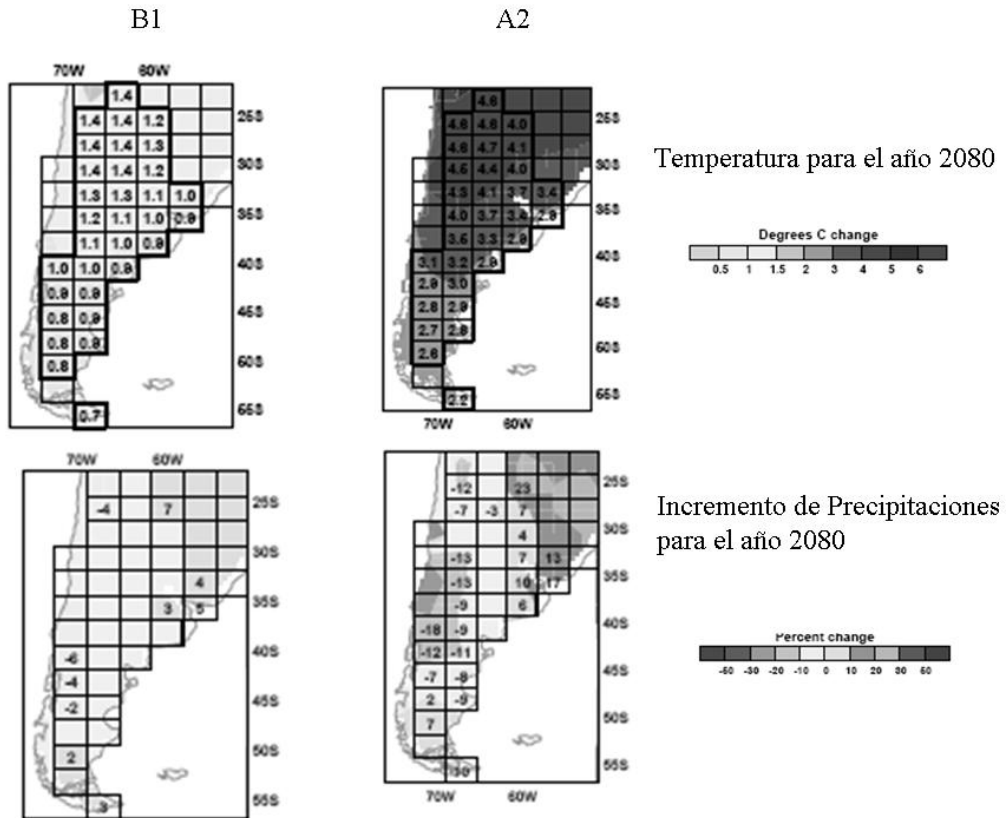


Figura 1: Escenarios de emisión del IPCC seleccionados para este trabajo (Adaptado de Hume and Sheard, 1999)

Según Hulme and Sheard (1999) dentro de la Argentina, el norte del país se calentará considerablemente más rápido que el sur. Por ejemplo, en el escenario A2 el sur del continente se calentará a una velocidad de 0.25°C/década, mientras que el norte de Argentina se calentará a una velocidad de 0.4°C/década. Para el escenario B1, estas velocidades de calentamiento están reducidas por un factor de alrededor de tres.

Para calcular el balance hidrológico, el suelo evaluado sobre el que se determinaron los cambios en el balance hidrológico fue un Hapludol típico del oeste bonaerense. Se tuvieron en consideración las temperaturas y precipitaciones medias mensuales para el período 1986-2006 (SMN), y en base a estos valores se calculó lo que pasará en el balance con un aumento de la temperatura en un 3% y un 10% en las precipitaciones estimados hacia el año 2080 en la zona (Figura 2).



Figura 2: Área bajo estudio para el balance hidrológico del oeste de Buenos Aires

En el suelo en estudio, se determinó la humedad del suelo a capacidad de campo, la que fue utilizada como variable que expresa el contenido hídrico en el balance de agua del perfil. Los balances se calcularon con el programa BALUBA (Hurtado, 1991) a partir del dato de humedad equivalente media y los datos climáticos. Se compararon los excesos y deficiencias hídricas entre los escenarios considerados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de los suelos

En el escenario B1 pueden esperarse cambios en los suelos tendientes a una disminución en el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) y en consecuencia de su fertilidad, esto también estará relacionado con el manejo al que estén sometidos los suelos. Esta pérdida en MOS se debe especialmente al efecto que tiene la temperatura en la velocidad de descomposición de la MOS (Álvarez y Lavado, 1998). En ambientes frágiles la pérdida de MOS (disminuciones de un 25 al 45%) y sus fracciones puede darse en cortos períodos de tiempo (2 años), especialmente cuando se deforesta el suelo o se cambia la vegetación natural por agricultura (Ciarlo *et al*, 2004, Heredia *et al*, 2006), este proceso entonces es esperable que se acelere generando un impacto

importante en la pérdida de stock de carbono en el suelo y una mayor emisión del CO₂ a la atmósfera.

Para el escenario A2 el aumento de la temperatura de sur a norte, variará entre 2.9 a 4.1°C, con un aumento de las precipitaciones del 6 al 10% (Hulme and Sherad, 1999). Esto, además de provocar un descenso en los niveles de materia orgánica por el cambio del balance hidrológico que se producirá en la zona, con épocas marcadas de déficits hídricos, podría acelerar el proceso de lixiviación de bases en los períodos húmedos como consecuencia de las mayores precipitaciones, acompañado también por el aumento de la temperatura que acelera las reacciones químicas. Estos cambios podrían generar como consecuencia una acidificación del suelo (Figura 3). Con periodos marcados de sequía y humedecimiento puede ocurrir una translocación acentuada de arcillas con un cambio textural abrupto. Si se consideran estos cambios y se plantean en relación a su impacto sobre el territorio, podría suponerse que bajo el escenario en estudio, ocurriría una disminución en la superficie de suelos Molisoles y un aumento de los Alfisoles.

Estos cambios también producirán cambios en la diversidad biológica (IPCC, 2008).

Los Alfisoles se originan por el movimiento vertical del agua por períodos prolongados en condiciones de alta temperatura sobre prácticamente casi cualquier tipo de material parental. Su principal característica es la formación de un horizonte argílico o sea de acumulación de arcilla iluviada (que migra del horizonte superficial al profundo). Para que la lixiviación ocurra con intensidad, la precipitación debe ser más elevada que la evapotranspiración potencial en condiciones de drenaje libre, esto es que la tabla de agua debe encontrarse muy profunda y separada de la superficie, ambas situaciones se dan para el balance hidrológico del suelo para las situación A2 correspondiente al cambio en el balance hidrológico del suelo.

Este proceso conlleva la pérdida de cationes mono y divalentes (Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺) con la acumulación de cationes tri y tetravalentes como el Al³⁺, Fe³⁺ y Si³⁺. La coloración de estos suelos se debe principalmente al grado de hidratación del Fe el cual, en su forma oxidada, confiere tonalidades pardo rojizas o rojizas en las partes cóncavas del relieve, y en su forma hidratada da cabida a los colores pardo amarillentos y amarillentos en las depresiones convexas de estos paisajes (Henriquez *et al*, 2009).

Uno de los procesos pedogenéticos involucrados es el de fersialitización, formados sobre materiales sin características especiales bajo clima templado-cálido o cálido con época de lluvias y periodos secos acusados. En el periodo húmedo hay alteración química de los silicatos con liberación de óxidos de hierro y pérdida parcial de sílice coloidal y aparición de arcillas de neoformación, también se puede producir arrastre mecánico de arcillas hacia horizontes inferiores. En verano el perfil seco se produce deshidratación del coloide férrico dándole un color rojo a los horizontes inferiores

Si se considera lo que puede suceder hacia el norte, con un aumento un poco más marcado de las temperaturas medias anuales se puede dar la formación de Ultisoles.

El principal criterio para clasificar estos suelos como Ultisoles y Alfisoles es la presencia de un horizonte argílico y/o kándico subsuperficial, en el primer caso bajo condiciones ácidas (trópicos húmedos), y en el segundo, en condiciones neutras a básicas (trópico húmedo seco).

Estos cambios posiblemente sean mas rápidos que lo esperado y a lo que se esta acostumbrado en el estudio de la evolución de los suelos, este efecto de aceleración de procesos también ha sido postulado por Trnka *et al.* (2009) para las zonas agroecológicas europeas.

Hacia el oeste y norte del país en función al balance hídrico que se produzca es posible el aumento del proceso de desertificación. Además, si se produjera un aumento del nivel del mar y en consecuencia del nivel de base de ríos y arroyos (Kokot, 2009), esto podría reflejarse en un aumento de la superficie de suelos hidrohalomórficos.

Los expertos también plantean la pérdida de territorio, como en nuestras costas donde el nivel del mar está creciendo a razón de cuatro centímetros por década, donde la costa sur de la Bahía de Samborombón, así como ciertas regiones al sur de Bahía Blanca, serían las más afectadas.

Es decir, que si contemplamos el impacto del cambio climático sobre el suelo, debemos tener en cuenta su influencia sobre las modificaciones que se producirían sobre la diversidad biológica (IPCC, 2008), sobre los agroecosistemas, los sistemas productivos y sobre los valores de mercado de las tierras.

Muchos también evalúan los problemas socio-económicos que pueden plantearse frente al cambio climático, como esto además puede afectar la flora y fauna de una región y de la necesidad de una producción más sustentable, sin embargo pocos son los que se plantean como será el efecto del cambio climático en los ambientes edáficos del país.

Cambio en el balance hídrico

La cantidad de agua que ingresa al suelo puede ser evaluada desde distintos puntos de vista, por un lado condiciona el agua almacenada y por ende la posibilidad de producción agropecuaria, tanto en calidad como en cantidad de granos cosechados. Por otra parte los excesos ó déficits hídricos marcarán la evolución potencial de los suelos y la traslocación de diversos tipos de sustancias que van a perderse del sistema edáfico y llegar al agua subterránea.

En la Tabla 1 se presenta el balance hídrico actual de Hapludoles típicos representativos de la zona oeste de la provincia de Buenos Aires y en las Figuras 4 y 5, las curvas de excesos y almacenaje de las tres situaciones planteadas.

Para el balance hidrológico actual se encontró un déficit de agua en enero y diciembre y un exceso anual de 257mm, los excesos ocurren de mayo a octubre. La recarga de los suelos ocurre en otoño.

Tabla 1: Balance hidrico actual (periodo 1980-2006) para el oeste de Buenos Aires. (Cap. Camp.: 238 mm).

BALANCE HIDROLÓGICO CLIMÁTICO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pp	138	113	133	77	59	77	87	76	81	100	90	93	1124
ETP	146	112	100	60	39	22	21	30	42	69	97	135	873
Kc	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ETPc	146	112	100	60	39	22	21	30	42	69	97	135	873
Pp-ETPc	-8	1	33	17	20	55	66	46	39	31	-7	-42	251
ALM	187	188	221	238	238	238	238	238	238	238	231	194	
D ALM	-6	1	33	17	0	0	0	0	0	0	-7	-37	
ETRc	144	112	100	60	39	22	21	30	42	69	97	130	867
DEF	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6
EXC	0	0	0	0	20	55	66	46	39	31	0	0	257

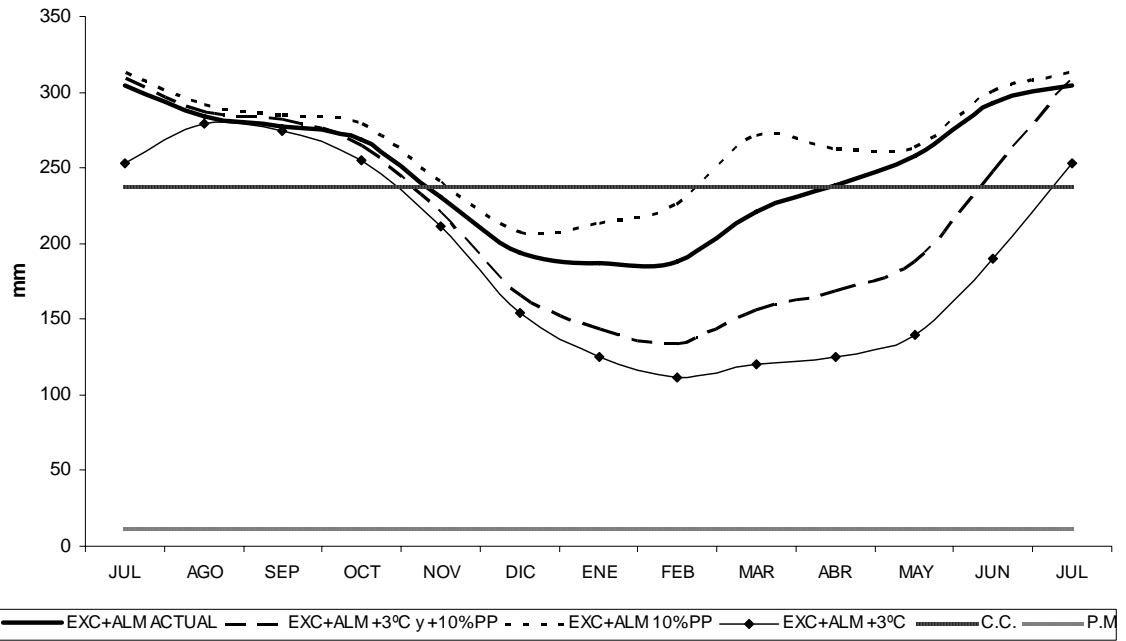


Figura 4: Variación anual del almacenaje excesos de agua en el suelo

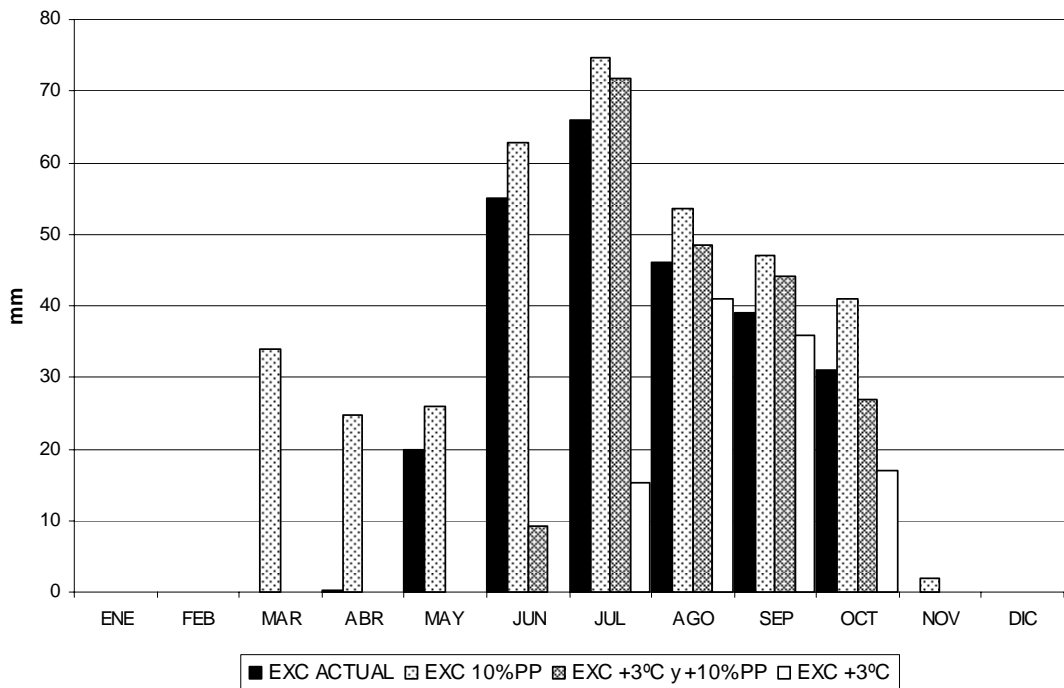


Figura 5: Comparación entre los excesos hídricos según las situaciones climáticas evaluadas

La situación estimada hacia el año 2080, con un aumento del 10% en las precipitaciones, arrojó un déficit no significativo en diciembre y un exceso de 366mm anual durante los meses de marzo a noviembre. Esto es un aumento de 30% en el agua que abandona el perfil y percola hacia el acuífero freático. Este aumento produce intensificación de la pérdida de materiales del suelo, y podría aumentar la productividad de los cultivos en la zona por la mayor disponibilidad del recurso hídrico.

Si el aumento fuera de 3°C en la temperatura y las precipitaciones fueran iguales a las actuales el exceso de agua será de 109 mm, lo que implica graves problemas de abastecimiento de agua para los principales cultivos y una disminución importante de la recarga de agua para los acuíferos.

En la situación combinada de aumento de 3°C en la temperatura y de 10% en las precipitaciones, el exceso de agua sería de 201 mm/año. En enero habría déficits de agua (12 mm) mayores a las actuales, hay excesos de 27 mm de agua en octubre y hay equilibrio en los meses de noviembre y diciembre, coincidiendo por lo encontrado para la región pampeana por Nuñez et al (2005) Actualmente hay déficits de humedad de noviembre a mayo, en el escenario A2 los sería entre noviembre a junio.

Por todo lo expuesto se deberá tener en cuenta la transición a los cambios que se avecinan para ajustar las prácticas de producción hacia la nueva situación hidrológica.

CONCLUSIONES

Para los escenarios climáticos evaluados, los cambios en la temperatura y precipitaciones producirían cambios en las propiedades de los suelos y la velocidad con las que estas ocurren. Posiblemente se pierdan suelos Molisoles que evolucionarían a Alfisoles y Ultisoles según las condiciones de equilibrio ecológico final al que se llegue.

En condiciones un aumento del agua que infiltra incrementaría la lixiviación de sales, MO, bases, metales, arcillas y demás componentes del suelo hacia horizontes más profundos y hacia la capa freática.

Para el Hapludol, la situación combinada de aumento de 3°C en la temperatura y 10% en las precipitaciones producirían un exceso de agua de 201 mm/año, menor a la actual, generando menor recarga de acuíferos.

Por otro lado se introducirían modificaciones en los sistemas productivos, dadas en parte por modificaciones en los rendimientos, modificaciones en la forma de realizar las producciones, en el esquema de producción planteado, pudiendo incluir modificaciones en la producción agrícola (diversificación de cultivos, rotaciones, manejo del suelo) y en la producción pecuaria. Habría que considerar entonces cuál sería el impacto sobre los productores y la capacidad que tendrían los mismos de adaptarse a estos cambios. No hay que olvidar que se trata de modificaciones dentro de un agroecosistema, el cual es el producto de la interacción entre los recursos destinados a una producción y el hombre que se inserta en él haciendo un uso del mismo.

De todas maneras, las estimaciones sobre escenarios futuros con respecto al cambio climático son una herramienta valiosa, la cual, debe ser analizada y evaluada junto a las demás variables del sistema a la hora de tomar decisiones ambientales y productivas que puedan afectar, ya sea, al recurso edáfico como al hídrico.

No debe dejarse de tener en cuenta que los modelos de cambio climático presentan incertidumbre, por lo que aquí expresado constituyen especulaciones o ejercicios intelectuales de lo que podrá llegar a suceder en este siglo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con el proyecto el UBACyT G420.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ R., LAVADO RS. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83: 127-141.
- BARROS V. 2004. El cambio climático. Ed. El Zorzal, Buenos Aires, 172pp.
- CAMILLIONI, I. y BARROS, V. 2009. Escenarios climáticos futuros para el sur de Sudamérica a partir de modelos climáticos globales. En: Desafíos del cambio climático y global en la Argentina. Ed. Eudeba, 205-206 pp.
- CIARLO, E. COSENTINO, D., HEREDIA, O. y CONTI, M. 2004. Efecto del uso del suelo sobre fracciones de la materia orgánica y cantidad de agregados estables. *Revista Científica Agropecuaria*, 8 (2): 15-23.
- FERNÁNDEZ LONG M. E, BARNATÁN, I.E., SPESCHA, L.B., HURTADO, R. y MURPHY, G.M. 2005. Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 25 (3), 247-257.
- HEREDIA, O., GIUFFRÉ, L., GORLERI, F.J. y CONTI, M. 2006. Calidad de los suelos del norte de Santa Fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra. *Revista C. del Suelo* N° 24 (2): 109-114.
- HEREDIA, O., PASCALE, C. y TELECHEA, P. 2006. Comportamiento químico de un Hapludol y un Argiudol bajo anegamiento en el noroeste de Buenos Aires. *Revista Facultad de Agronomía*, UBA, 26(1): 47-52.
- HERNIQUEZ, C., CALBACETA, G., BERTECH, F. y ALVARADO, A. Suelos de Costa Rica. A. Costarricense de la Ciencia del Suelo. En: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html
- HULME M. y SHEARD, N. 1999. Climate change scenarios for Argentina. Climate Research unit, UEA, Norwich UK, 10pp.
- HURTADO, R. 1991. Balance hidrológico climático con coeficientes de cultivo. BALUBA, versión 1.0. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola, FAUBA.
- HUSZÁR T.; MIKA, J., LÓEZY, D., MOLNAR, K. and KERTÉZ, A. 1999. Climate change and soil moisture: a case study. *Phy. Chem. Earth*, 24(10): 905-912.
- IPCC. 2007. Climate change. Synthesis report. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf: 114 pp. PNUMA
- IPCC. 2008. Cambio climático y agua. PNUMA, 224 pp.
- JENNY, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. Ed. McGraw-Hill, New York, 281 pp.
- KOKOT, R.R. 2009. Como los cambios del nivel del mar afectaran las costas argentinas. En: Desafíos del cambio climático y global en la Argentina. Ed. Eudeba, 135-137 pp.
- LEVA, PE. y AGUIAR, M. 2009. Estudio de la variación regional agroecológica y genética de gramíneas patagónicas para revertir el deterioro forrajero y remediar los efectos del cambio climático. En: Desafíos del cambio climático y global en la Argentina. Ed. Eudeba, 281-282 pp.
- MURPHY, G. 2009. Desafíos del Cambio Climático y Global en Argentina: Primeras Jornadas Interdisciplinarias de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático. EUDEBA. Buenos Aires, 400 pp.

- NUÑEZ, M.N., SOLMAN, S., CABRE, M.F., y ROLLA, A. 2005. Estimación de escenarios regionales de cambio climático mediante el uso de modelos climáticos regionales. Informe final CIMA/CONICET B-9 Modelos climáticos regionales. GEF BIRF PF 51286 AR.
- SERIO, L. 2006. El cambio climático global. *Revista de la Facultad de Agronomía* 26 (3): 275-289.
- SEOANE, R. 2009. Aplicación de modelos hidrológicos y la evaluación del impacto del calentamiento global sobre componentes del ciclo hidrológico. En desafíos del cambio climático y global en la Argentina. Eudeba, Buenos Aires, 145-147 pp.
- SIERRA E. y PEREZ, S. 2006. Tendencias del régimen de precipitación y manejo sustentable de los ecosistemas: estudio de un caso en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Climatología* 6: 1-12.
- SPESCHA L., MURPHY, G., HURTADO, R. y FERNANDEZ LONG, M. 2009. Evidencias del cambio climático sobre las variables agrohidrológicas en la región oriental de secano (Argentina)", XVI Congreso Brasileiro de Agrometeorología 23 a 25 de setiembre de 2009 - Bello Horizonte, Brasil
- TRNKA M., EITZINGER, J., HLAVINA, P., DUBROVSKY, M., SEMERADOVA, D., STEPANEK, P., THALER, S., ZALUD, Z., MOZNY, M. y FORMAYER, M. 2009. Climate-driven changes of production regions in central Europe. *Plant Soil Environ.* 55 (6): 257-266.

LA SITUACIÓN HÍDRICA DE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS SOBRE LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA

The water soil in the last 30 years on the Pampeana Argentina Region

Vanina L. Ferrero*^{1 y 2}, Marcela H. González^{1 y 2},
Leonardo Serio³ y Rafael Hurtado³

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

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

2º piso, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, 1428, CABA, Argentina

³ Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas (FAUBA)

*ferrero@cima.fcen.uba.ar

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo es analizar la ocurrencia de excesos y déficits hídricos y su distribución espacial en escalas temporales anual y estacional (verano, invierno, primavera y otoño) en la región pampeana, durante el período 1971-2006. Se utilizaron datos mensuales de precipitación acumulada y temperatura media para realizar un balance hídrico seriado, aplicando una metodología derivada de la de Thorhnwaite y Matter. Se calculó el déficit/exceso acumulado estacionalmente y anualmente, obteniendo que en verano los excesos son pequeños y están centrados en el norte de Buenos Aires mientras que hacia el sur se verifican los máximos déficits del orden de los 100 mm, en cambio durante el invierno los excesos son mayores (aproximadamente 100 mm) en el este de la región y disminuyen hacia el oeste, con marcado gradiente zonal, hasta déficits de 30 mm en la parte más occidental. En primavera el campo espacial se asemeja al del invierno pero con excesos más intensos en la zona oriental, mientras que en otoño se observa un gradiente noreste-sudoeste con excesos en el noreste y déficits en el sudoeste. El patrón anual muestra exceso en el este y disminución paulatina hacia el noroeste y el sudoeste. El porcentaje de años en los cuales se registraron déficits invernales supera el 50% en todo el oeste de la región mientras que en verano dominan en el norte y sur. El porcentaje de años con exceso supera el 40% en el centro y norte del área en verano y en el este en invierno.

Palabras Clave: situación hídrica, precipitación, evapotranspiración, excesos y déficits.

SUMMARY

One of the main aims of this paper is to analyze the occurrence of water excess and deficit in soils, its spatial distribution in annual and seasonal (summer, winter, autumn and spring) scales, in the Pampas Plains of Argentina, during 1971-2006. Monthly rainfall and temperature data were used to perform a sequential water balance using Thorhnwaite and Matter method. Regarding the annual and seasonal water excess and deficit in soils that were calculated, it could be concluded that the water excess are small and located specially in the north of Buenos Aires in Summer, meanwhile the maximum deficits, approximately of 100 mm, were located in the southern part of Buenos Aires in Winter. In Winter, the water excess are greater (100 mm, approximately) in the east of the study region and they decrease towards the west, with an important zonal gradient,

and water deficits of 30 mm are reached in most western area. In spring the pattern is similar to the winter but with more intense water excess in the eastern area, meanwhile in autumn, a northeast-southwest gradient is observed with maximum in the northeast. The annual pattern shows excess in the east, diminishing towards northwest and southwest. The percentage of years with winter deficits were greater than 50% in the west meanwhile in summer they were located in the south and north of the study region. The percentage of years with water excess is greater than 40%, in the center and north of the area, during summer and in the east during winter.

Key words: water soil, precipitation, evapotranspiration, excesses and deficits

INTRODUCCIÓN

En la región pampeana se concentra entre el 90 y 95% de la producción nacional de cereales y oleaginosas. 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. Por ejemplo, durante la campaña 2008-2009, la escasez de lluvias ocasionó la menor siembra de trigo, entre otros cereales, y las pérdidas fueron muy importantes.

La posibilidad de encontrar herramientas de diagnóstico que permitan evaluar si la precipitación será diferente a la normal esperada, provee innumerables beneficios a los tomadores de decisión en diversas áreas como son la hidrología (Cunha, 2003), las etapas de cultivo (Hammer et al., 2001), el control de las epidemias (Thompson et al., 2000), la provisión de energía, el transporte de combustibles y hasta para la industria del seguro (Murnane, 2004).

En el caso de la agricultura, es indispensable analizar la relación existente entre la situación hídrica del suelo y la precipitación, sobre todo en las llanuras argentinas 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. Muchos esfuerzos se han realizado para mejorar las técnicas de cómputo del balance hídrico y aplicaciones del mismo (Pascale y Damario, 1977; Spescha y Forte Lay, 2002; Spescha et al., 2004). Tanco y Kruse (2001) estudiaron la fluctuación del nivel freático al este de la provincia de La Pampa y al nordeste de la de Buenos Aires y presentaron un modelo sencillo para pronosticar la precipitación estacional conociendo los campos de temperatura de la superficie del mar en el Océano Pacífico. Otros autores estudiaron la variabilidad de los períodos húmedos y secos (Penalba y Vargas, 2001) y la variabilidad de baja frecuencia de la precipitación (Castañeda y Barros, 1994; 2001; Minetti y Vargas, 1998). En Argentina subtropical, la frontera agrícola se desplazó significativamente (Barros, 2006), lo que motivó que esta región haya sido señalada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático como la de mayor incremento porcentual de la precipitación (23%) a lo largo del último siglo (IPCC, 2007). Sin embargo, la variabilidad interanual es muy grande. Períodos húmedos y secos han tenido lugar alternadamente, tal como los describió Florentino Ameghino (1884), hace ya más de un siglo. Los períodos húmedos son normalmente seguidos de épocas secas, como ocurrió en la temporada 2007-2008 en amplias zonas de Argentina.

El objetivo del presente trabajo es cuantificar la situación hídrica media en la región pampeana argentina durante los últimos 30 años, analizando los déficit/excesos ya sea a escala temporal anual como estacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de precipitación mensual acumulada y temperatura media mensual para 25 estaciones pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional durante el período 1971-2006. Las estaciones para las cuales se realizó el estudio, se ubicaron en la región pampeana abarcada por Buenos Aires, Entre Ríos, sur de Santa Fe y este de Córdoba y La Pampa (Figura 1).

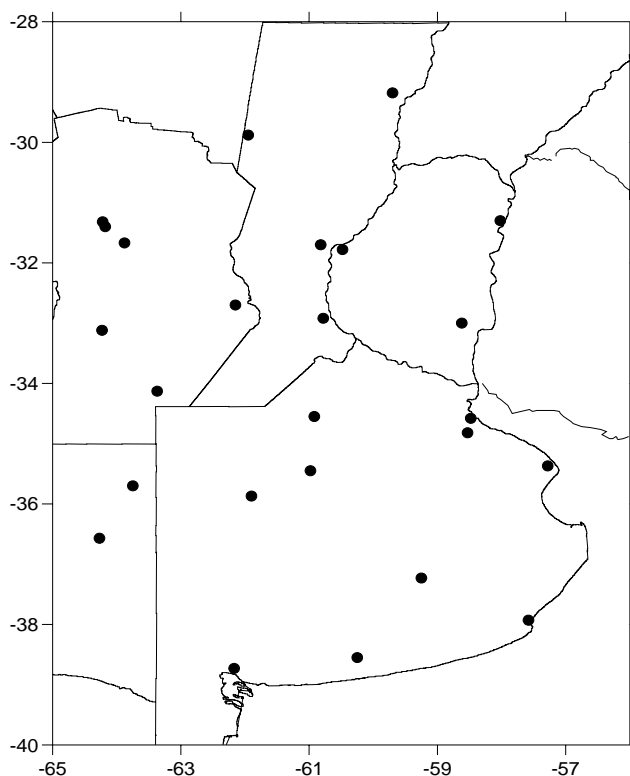


Figura 1: Ubicación de las 25 estaciones utilizadas para realizar el trabajo

La situación hídrica (excesos/déficits) fue estimada a partir del Balance Hidrológico Seriado (BHS), siguiendo una metodología derivada de la de *Thornthwaite y Mather (1955) (TM)*. Aunque *TM* sea una metodología generada varias décadas atrás, produce resultados muy buenos con un manejo matemático relativamente sencillo. 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 pero de difícil acceso. Los datos de entrada del BHS son la precipitación acumulada mensual y la evapotranspiración potencial mensual (ETP). La ETP fue calculada según la fórmula de *Thornthwaite (1948) (T48)* adoptada por su simplicidad y porque produce buenos resultados en diferentes regiones (Vargas y Levinsky, 1976). Para el cálculo de ETP se tiene en cuenta la temperatura media mensual y el índice calórico anual, según la expresión exponencial:

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

donde ETP_j es la evapotranspiración potencial para el mes j con 12 horas de heliofanía y sus unidades son mm/mes, T_j es la Temperatura media mensual del mes j , I es el índice calórico anual que se calcula como la suma de los 12 índices calóricos mensuales i_j , con

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

y a es una función cúbica en función de I con la siguiente expresión:

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

Los valores de ETP obtenidos con $T48$ deben ser corregidos, según el número de horas diarias de insolación teórica y el número de días del mes, la latitud y época del año, a un mes tipo de 30 días y 12 horas de heliofanía, mediante la fórmula:

$$ETP_{jcorr} = ETP_j \cdot (N/12) \cdot (d/30)$$

donde ETP_j es la evapotranspiración potencial sin corregir, N cantidad de horas diarias de insolación teórica para el mes j y d es el número de días del mes j .

Con los datos de precipitación acumulada mensual y los datos calculados de ETP_{jcorr} se realizó el BHS para obtener la situación hídrica de la región de estudio. Este tipo de balance obtiene el almacenaje correspondiente a un mes a partir del almacenaje del mes anterior y de la necesidad y aporte de agua (ETP y PP) del mes en cuestión. Para comenzar a computar el balance se tomó como almacenaje inicial para el primer mes de la serie el 50% de la capacidad de campo, sabiendo con seguridad que la mecánica del balance corrige algún posible error inicial. La corrección se consigue en unos pocos meses, por lo que se despreció el primer año de cómputos para el posterior análisis de resultados. Luego se continuó con el cálculo del balance mes a mes para la serie disponible de 36 años, considerando que el almacenaje del mes de diciembre de cada año constituye el almacenaje anterior para el mes de enero del año siguiente. El valor del almacenaje para el mes j , será igual a la suma del almacenaje del mes $j-1$ más la diferencia $PP-ETP$, siempre que ésta sea positiva. Cuando la diferencia sea negativa, el almacenaje del mes j se computará mediante la siguiente expresión exponencial:

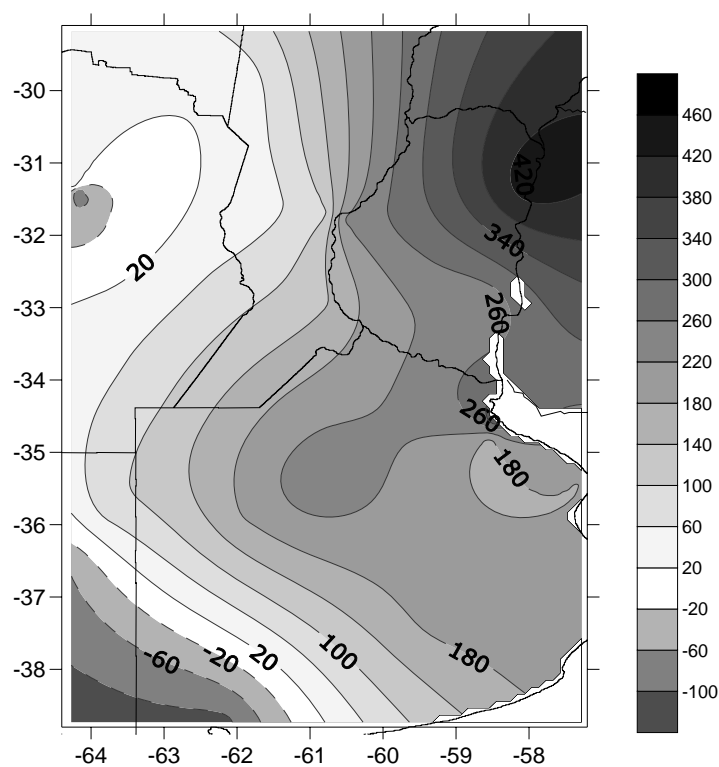
$$Alm_j = Alm_{j-1} \cdot \exp((PP-ETP)/CC)$$

donde CC es la capacidad de campo.

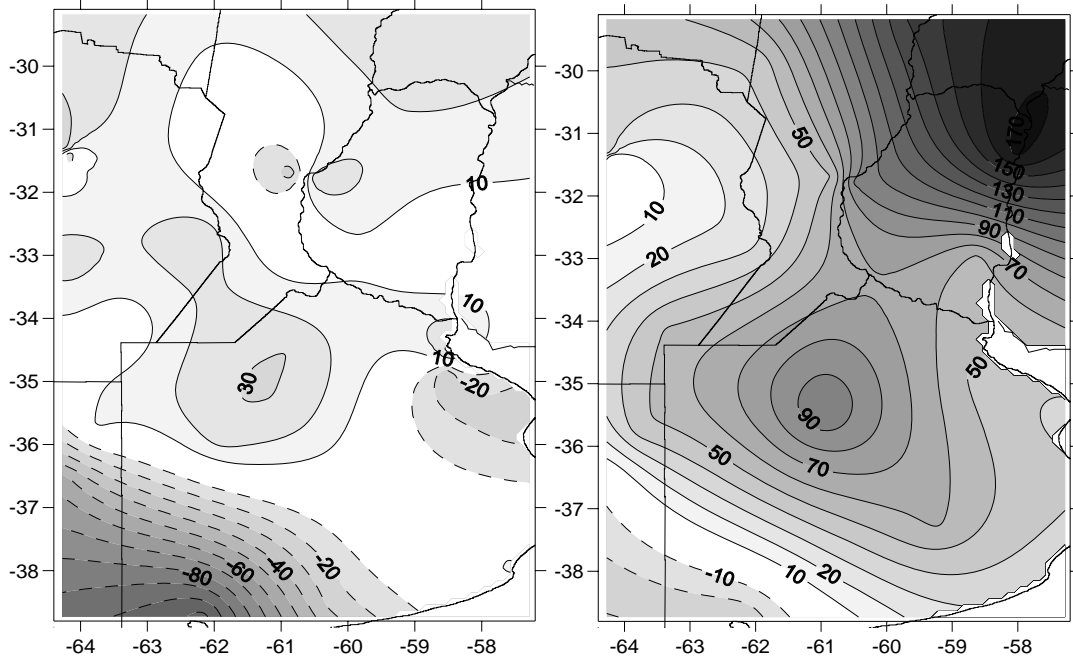
Una vez realizados los cálculos para toda la serie, se obtiene para cada mes de los 35 años, una determinada situación hídrica que está representada por un exceso (valor de balance positivo), por un déficit (valor negativo) o por una situación de equilibrio (valor nulo), en cada una de las 25 estaciones. Para obtener un panorama espacial de la situación hídrica a escala temporal anual y estacional, se calculó para cada año de la serie y para cada estación el acumulado de la situación hídrica de forma anual y estacional, ya sea verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON), obteniéndose de esta manera los campos medios espaciales de la situación hídrica. Por otro lado, se determinó para cada estación, el porcentaje de años con excesos/déficits, también a escala temporal anual y estacional.

RESULTADOS

Los campos espaciales medios de la situación hídrica muestran en la zona de estudio, a escala temporal anual, excesos en toda la franja oriental, con valores que superan los 420mm en el Noreste, disminuyendo los mismos de forma paulatina hacia el centro, llegando a situación de déficit en el Sudoeste y Noroeste, los cuales son levemente inferiores a los 100 mm (Figura 2a). Los campos espaciales medios de escala temporal estacional, muestran para el verano (Figura 2b) un campo muy irregular con excesos pequeños y restringidos a regiones como por ejemplo el norte de Buenos Aires, mientras que los déficits son más importantes en cuanto a su intensidad y se ubican mayormente en el sur de la región con valores llegan a superar los 100 mm. Contrariamente a lo que pasa en verano, en invierno el campo de situación hídrica es más regular y con un marcado gradiente zonal (figura 2d).

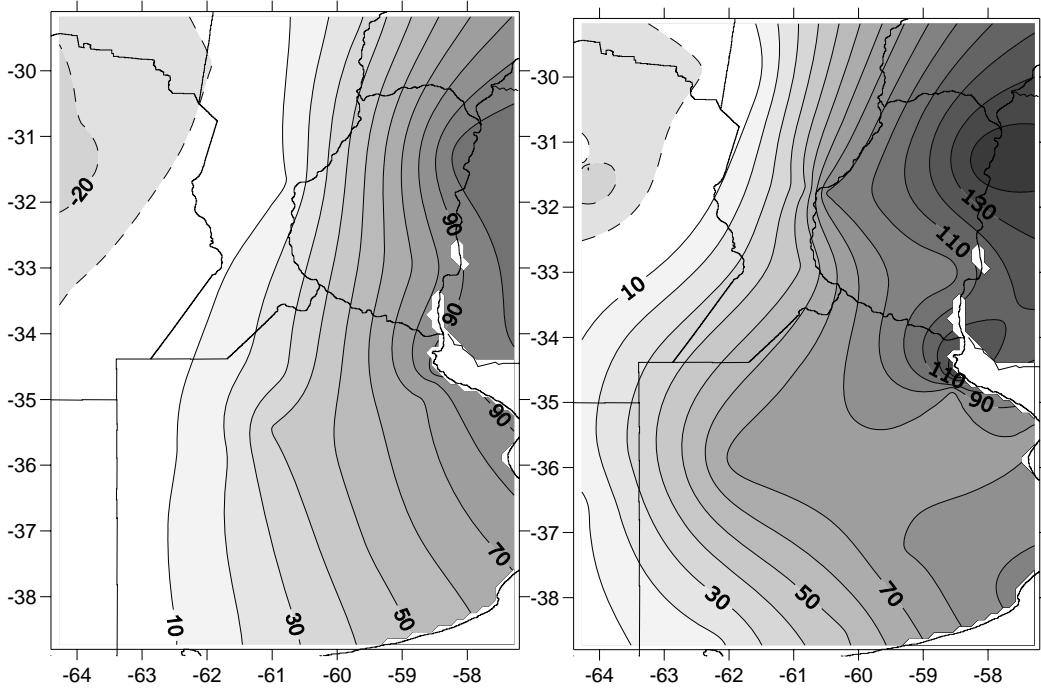


2a



2b

2c



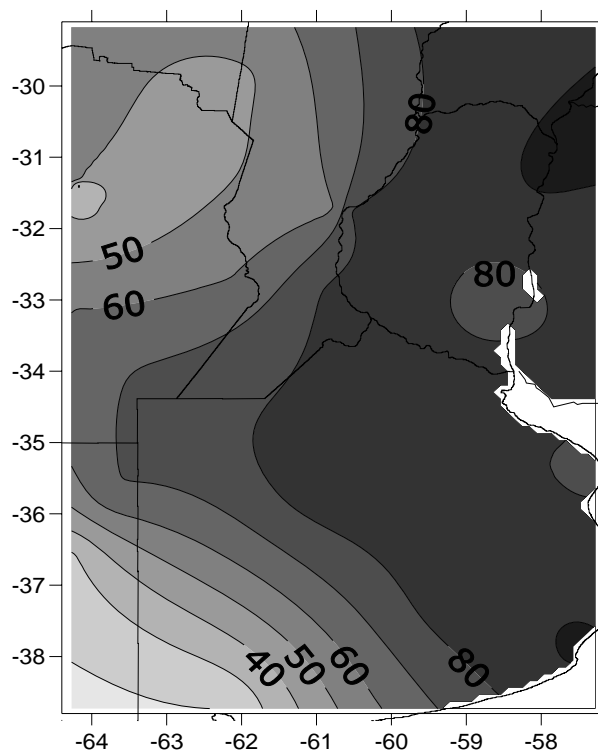
2d

2e



Figura 2: Situación hídrica (en mm) durante el período 1971-2006 para escala anual (2a), verano (2b), otoño (2c), invierno (2d) y primavera (2e). Las líneas sólidas (partidas) indican excesos (déficits) hídricos.

Los excesos dominan la región, observándose los mayores valores en el este (aproximadamente 100 mm), mientras que los déficits se concentran en la región occidental, con acumulados que apenas alcanzan los 20 mm. Para las estaciones de transición la situación hídrica también presenta un dominio de los excesos sobre los déficits, ya sea en intensidad como en extensión, pero con patrones algo diferente entre ambas estaciones. En primavera, el campo espacial muestra un comportamiento similar al de invierno, con excesos en el este, aunque más intensos que éstos (superiores a los 140 mm) y déficits que rondan los 30 mm, ubicados en el extremo noroeste (figura 2e). En otoño, el campo de la situación hídrica muestra un gradiente con dirección noreste-sudoeste, con los excesos en el noreste y los déficits en el sudoeste (figura 2c). Los excesos son mayores a los de primavera, se alcanzan valores superiores a los 170 mm, y los déficits muestran valores similares. En el análisis de la cantidad de años en que cada estación tuvo excesos/déficits, también desde el punto de vista anual y estacional, se encontró que a escala anual (Figura 3a), en más del 80% de los años se produjeron excesos en la franja oriental, mientras que en el noroeste y sudoeste se concentraron los mayores porcentajes de situación deficitaria, llegando a ser superiores al 50% (Figura 4a), panorama que se relaciona con los excesos y déficits observados en la Figura 2.



3a

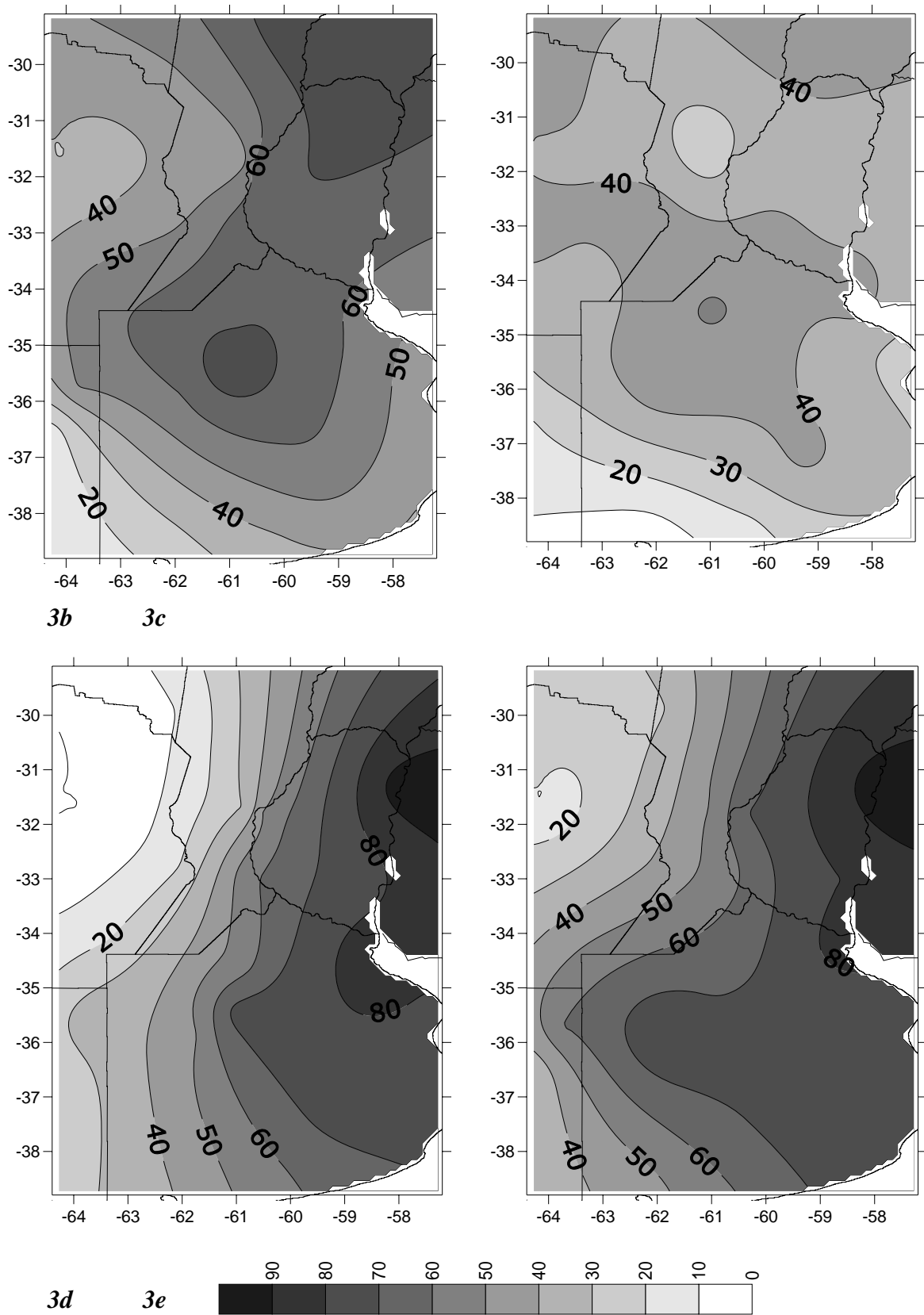
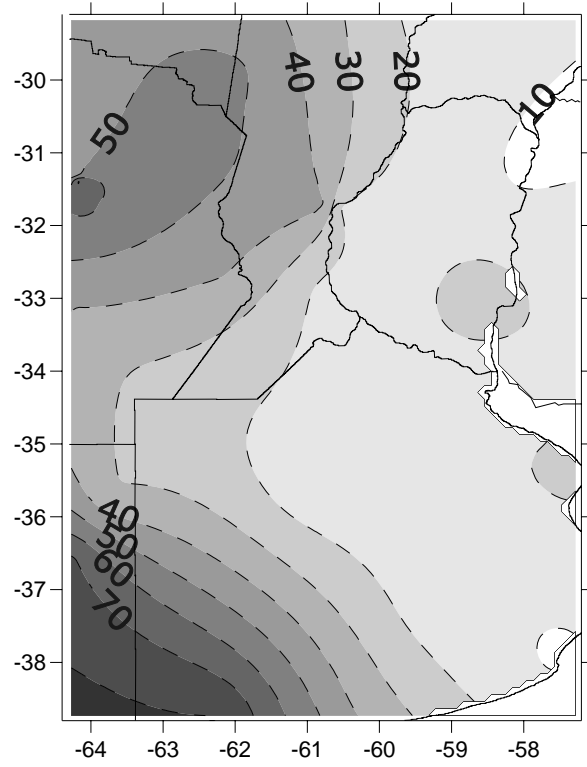
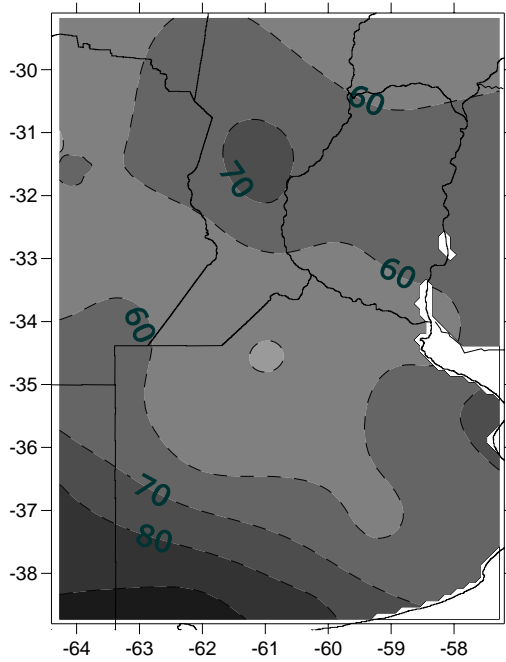


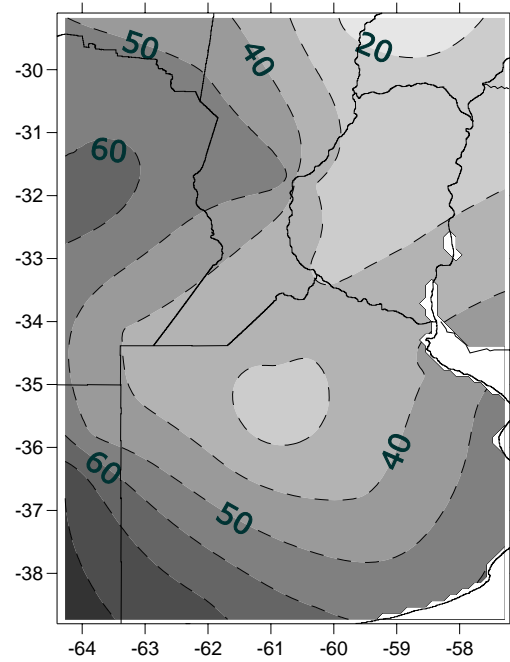
Figura 3: Porcentaje de excesos durante el período 1971-2006 para escala anual (3a), verano (3b), otoño (3c), invierno (3d) y primavera (3e).



4a



4b



4c

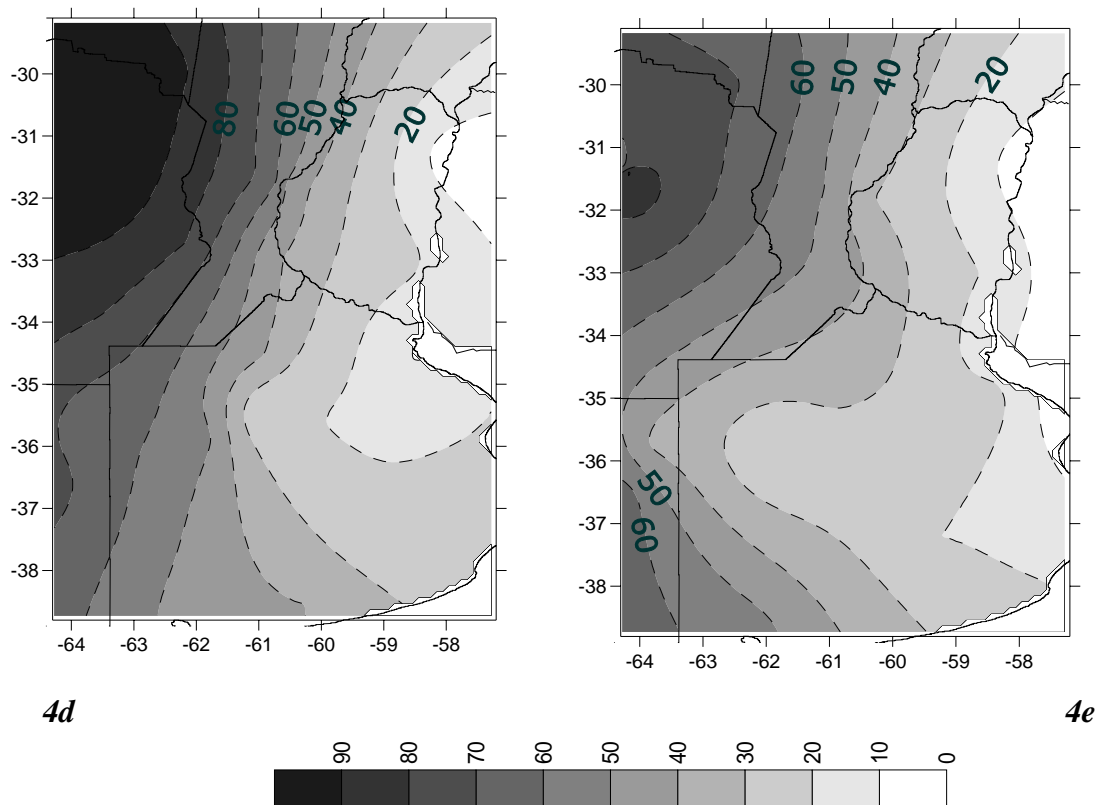


Figura 4: Porcentaje de déficits durante el período 1971-2006 para escala anual (4a), verano (4b), otoño (4c), invierno (4d) y primavera (4e).

El porcentaje de años con déficits invernales (Figura 4d) supera el 50% en todo el oeste de la región, a diferencia del verano (Figura 4b) en donde el porcentaje es igual superior al 50% en la totalidad de la región, registrándose la mayor cantidad de veranos con déficit en el sur (alrededor del 80%). En cuanto a los excesos, en invierno (Figura 3d), los mayores porcentajes se dieron en la mitad oriental (superior al 50%), mientras que en el noroeste los inviernos con excesos fueron menos al 10%. En verano (Figura 3b), la cantidad de excesos son inferiores, y la mayor parte de la región presenta porcentajes por debajo del 50%. Los excesos de primavera (Figura 3e) y otoño (Figura 3c) tuvieron mayor ocurrencia en el centro y este de la región, observándose los porcentajes más altos (superiores al 70%) en la primavera. Las otoños (Figura 4c) y primaveras (Figura 4e) deficitarios presentaron mayor porcentaje de ocurrencia en la franja occidental, pero con porcentajes menores a los de excesos, restringiéndose más precisamente al sur y sudoeste en otoño y al noroeste en primavera. Por lo tanto en primavera y otoño, son más importantes los excesos, no sólo en intensidad sino también en el porcentaje de ocurrencia.

CONCLUSIONES

El análisis de la situación hídrica obtenida a partir del balance hidrológico seriado mostró que a escala anual los excesos son más intensos que los déficits los cuales sólo se restringen al sudoeste de la región y a un pequeño sector en el noroeste. El mayor porcentaje de años con excesos dominaron el este, mientras que los años deficitarios fueron mayores hacia el oeste. El otoño y la primavera fueron las estaciones donde los excesos fueron más importantes, no sólo desde el punto de vista de la intensidad, sino

también que estas estaciones fueron las que tuvieron los mayores porcentajes de ocurrencia de excesos. El campo de la situación hídrica se asemejó en ambas estaciones, ya que los excesos se ubicaron en el este y centro, pero con la diferencia de que los déficits dominaron en el sudoeste y sur en otoño, mientras que en primavera se observaron mayormente en el noroeste. El verano y el invierno tuvieron comportamientos disímiles en cuanto a la situación hídrica y a la ocurrencia de excesos y déficits. En verano el campo de excesos/déficits mostró un patrón muy irregular, pero con un sector bien definido de déficits ubicados en el sur de la región, los cuales fueron los más intensos de las cuatro estaciones, mientras que los excesos fueron los más débiles. En invierno se observó un gradiente bien marcado de dirección este-oeste, con los excesos en el este y centro y los déficits restringidos al oeste y de intensidad inferior. En verano fueron más frecuentes los déficits en toda la región, ya que los porcentajes de ocurrencia estuvieron aproximadamente por encima del 60%, mientras que en invierno los déficits fueron más frecuentes en el oeste de la región y los excesos tuvieron mayor porcentaje de ocurrencia en el sector oriental.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Meteorológico Nacional por los datos provistos. Este trabajo fue subsidiado por los proyectos UBACyT X444, UBACyT X160 y CONICET PIP 112-200801-0019

BIBLIOGRAFÍA

- AMEGHINO, F. 1954. Sequías e Inundaciones en la provincia de Buenos Aires. *Publicación de la honorable Cámara de Diputados de la Nación Argentina*. Argentina.
- BARROS, V., 2006. Adaptation to Climate Trends: Lessons from the Argentine Experience. AIACC Working Paper N° 38. 40 p. <http://www.aiaccproject.org>
- CUNHA, M, 2003. Water system planning: the optimization perspectiva. *Eng. Optimization*, 35, 255-266.
- CASTAÑEDA, M.E. 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
- HAMMER, G.; HANSEN, J.; PHILLIPS, J.; MJELDE, J.; HILL, H. y POTGIETER, A. 2001. Advances in application of climate prediction in agriculture. *Agric.Syst.*, 70, 515-553.
- IPCC. 2007. Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Febrero 2007
- MINETTI, J. y VARGAS, W. 1998. Trends and jumps in the annual precipitation in South America south of 15°S. *Atmosfera*, 11: 205-223, México.
- MURNANE, R. 2004. Climate research and Reinsurance. *BAMS*, 85, 697-707.
- PASCALE, A.J. y DAMARIO, E.A. 1977. El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. LIII (1-2): 15-34
- PENALBA, O. y VARGAS, W. 2001. Propiedades de excesos y déficits de precipitación en zonas agropecuarias. *Meteorológica*, 26: 1-2, 39-56.
- SPESCHA L. y FORTE LAY, J. 2002. Impacto de La Niña en la reserva de agua edáfica en la región pampeana. *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. *Rev. Fac. de Agronomía*, 24 (2), 161-167.
- TANCO, R. y KRUSE, E. 2001. Prediction of seasonal water-table fluctuations in La Pampa and Buenos Aires, Argentina. *Hydrogeology Journal* 9: 339–347
- THOMPSON, M.; PALMER, T.; MORSE, A.; CRESSWELL, M. y CONNORS, S. 2000. Forecasting disease risk using seasonal climate prediction. *Lancet*, 355, 1559-1560.
- THORNTHWAITE, C. 1948. An approach towards a rational classification of climates *Geogr. Rev.* 38:55-94.
- THORNTHWAITE, C. y MATTER, J. 1955. The Water Balance. *Publications in Climatology VII*, Drexel Ins. Of Tech., New Jersey, USA, 104 pp.
- VARGAS, W. y LEVINSKY, A. 1976. Método de análisis de las condiciones hídricas mediante las técnicas de balance. *Informe Técnico N°6 INCyTH* 53pp.
- VARGAS, W. 1977. Incidencias teórico-prácticas del balance hídrico y propuesta de una mejor aproximación a la región húmeda argentina. *Publicación del Dpto. de Meteorología, FCEN, UBA.*

INCERTIDUMBRE DEL CAUDAL DE DISEÑO ANTE CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS EXTERIORES DE LAS TORMENTAS

Design streamflow uncertainty due to changes in external characteristics of rainfall

Patricia M. López¹ y Rafael S. Seoane*²

¹INA-CRA. Belgrano 210 oeste 3° Piso. Mendoza.
pmlopez@ina.gov.ar

²FIUBA-INA-CONICET. Departamento de Hidráulica.
Avenida Las Heras 2214 3° Piso.
*rseoane@fi.uba.ar

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivos proponer un conjunto de nuevas expresiones que permiten estimar el valor esperado del caudal máximo de una crecida y su intervalo de confianza y mostrar la importancia de sus variaciones considerando cambios en las características exteriores de las tormentas. La bibliografía sobre cambio climático indica como probables a muy probables los cambios en la duración, intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos. En consecuencia, resulta muy importante contar con nuevas formas de estimación de variables hidrológicas que faciliten el diseño de obras hidráulicas que contribuyan a mitigar estos posibles efectos adversos. La metodología desarrollada aplica distintas versiones de la teoría del hidrograma unitario instantáneo y permite evaluar como el aumento de la intensidad de la precipitación modifica las características del hidrograma de salida de una cuenca. La aplicación se realizó en la cuenca del río La Suela (Provincia de Córdoba) debido a la disponibilidad de datos de tormentas de corta duración. Los cambios en los hidrogramas se estudiaron considerando aumentos del 50 al 250% de la intensidad efectiva, donde la condición actual está representada por una relación Intensidad-Duración-Frecuencia de período de retorno dos años, suponiendo pérdidas porcentuales constantes para todas las duraciones. Los resultados muestran importantes aumentos en los caudales máximos del hidrograma de salida y disminuciones de los tiempos de ocurrencia de los máximos y de concentración de la cuenca. Las expresiones presentadas permiten estimar la incertidumbre de los caudales máximos, representar el comportamiento no lineal de los sistemas hidrológicos y lograr estimaciones iniciales de los probables cambios, posibilitando un planteo más racional de soluciones a los problemas relacionados con la intensificación de eventos extremos máximos.

Palabras clave: Impacto cambio climático en caudales, cambios características exteriores tormentas, modelo de Nash.

SUMMARY

Derived expressions to estimate the expected value of the peak flood event and its confidence intervals are presented to show variations due to changes in the external characteristics of rainfall. Changes in duration, intensity and frequency of extreme climate events are reported to be very likely; consequently it is important to be able to count on new estimation tools which contribute to mitigate the adverse consequences.

The derived method applies different versions of the instantaneous unit hydrograph theory allowing the assessment of changes in the response hydrograph characteristics due to an increase in rainfall intensity. The expressions are tested in La Suela river basin because short duration rainfall data was available. Based on increases of 50 to 250% of effective rainfall intensity the changes in the response hydrographs are studied. An intensity-duration-frequency relation for a two-year return period, with constant losses for all durations, is used to represent the present condition of effective rainfall intensity. The results show important increases in the peak and decreases in the time to peak and the basin concentration time. The derived expressions represent the nonlinear basin hydrological response and give an estimation of the peak uncertainty. They are useful to achieve initial estimations of likely changes in order to design mitigation plans.

Key words: Climate change impacts on streamflow; changes in external characteristics of rainfall; Nash model.

INTRODUCCIÓN

La precipitación es la principal causante de la variabilidad en el balance hidrológico, tanto en espacio como en tiempo, y sus cambios debidos al calentamiento global producirán alteraciones en la variable de salida de los sistemas hídricos. Las modificaciones de las características exteriores de las lluvias (altura precipitada y duración) y sus variaciones interanuales producirán modificaciones en la frecuencia de las crecidas.

Los modelos climáticos globales actuales no permiten predecir los cambios en la frecuencia de eventos intensos de precipitación, fundamentalmente debido a su baja resolución espacial que dificulta la simulación de condiciones locales. Los fenómenos climáticos extremos de pequeña escala, como pueden ser las tormentas convectivas y los tornados, no son simulados por los modelos climáticos globales y la información disponible es insuficiente para determinar como cambian estos procesos debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (Arnell *et al.*, 2001). Las proyecciones califican de probables a muy probables los cambios en la duración, intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos debidos al calentamiento global (Arnell *et al.*, 2001).

Las consecuencias directas del incremento de las lluvias intensas son: la ocurrencia de crecidas e inundaciones más frecuentes, el aumento de la erosión, el deslizamientos de laderas en zonas de gran pendiente, el incremento en la recarga de acuíferos, los daños a los ecosistemas, entre otras. Consecuentemente, aumentan las pérdidas y daños originando un aumento de la presión social al sector público para lograr medidas de remediación y protección. Por lo tanto, resulta importante contar con nuevas formas de estimación de variables hidrológicas que faciliten el diseño de obras hidráulicas que contribuyan a mitigar estos posibles efectos adversos.

En este trabajo se presentan expresiones derivadas para el análisis de caudales máximos, basadas en la teoría del modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfoclimático (HUIGC) desarrollada por Rodríguez-Iturbe *et al.* (1982a), que permiten aplicar el modelo de Nash (Nash, 1957) utilizando un enfoque probabilístico-determinístico.

Las expresiones fueron empleadas en la cuenca del río La Suela (Provincia de Córdoba), proporcionando una estimación de la incertidumbre de las características más

importantes del HUI y permitiendo evaluar cómo el aumento de precipitaciones intensas modifica las características más importantes del hidrograma de salida de la cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo conceptual del hidrograma unitario instantáneo (HUI) de Nash (Nash, 1957) representa el proceso de transformación de la precipitación efectiva en caudal directo y es útil para resolver problemas de diseño de obras hidráulicas. Este modelo considera el comportamiento de la cuenca como una serie de embalses lineales (n) con igual tiempo de permanencia en cada embalse (k). Su forma analítica es la función de densidad de probabilidades Gamma, que expresada en función de los parámetros del modelo es:

$$h(t) = \frac{1}{k \Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \quad (1)$$

Las características más importantes del HUI son el valor máximo q_p y el tiempo t_p y las relaciones analíticas para este modelo son:

$$t_p = k(n-1) \quad (2)$$

$$q_p = \frac{e^{1-n} (n-1)^{n-1}}{k \Gamma(n)} \quad (3)$$

Con el propósito de vincular q_p y t_p con las características geomorfológicas y climáticas de la cuenca, se utilizó el enfoque propuesto por Rosso (1984) y la función de densidad de probabilidades (fdp) de la velocidad correspondiente al pico de la respuesta de la cuenca definida en la teoría del HUGC (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1982a). La aplicación de la técnica de distribución derivada permitió determinar las fdp de q_p y t_p , utilizando las mismas consideraciones de Rodríguez-Iturbe *et al.* (1982a). Las funciones obtenidas son:

$$f(q_p) = \frac{5}{2} A q_p^{1.5} \exp(-A q_p^{2.5}) \quad (4)$$

$$f(t_p) = \frac{5}{2} \frac{M}{t_p^{3.5}} \exp\left(-\frac{M}{t_p^{2.5}}\right) \quad (5)$$

donde:

$$A = \left(\frac{0.7 \Gamma(n) L_\Omega}{e^{1-n} (n-1)^{n-1}}\right)^{2.5} \left(\frac{R_A}{R_B R_L}\right)^{1.2} \frac{1}{i_r A_\Omega \alpha_\Omega^{1.5}} \quad (6)$$

$$M = (0.7 L_\Omega (n-1))^{2.5} \left(\frac{R_A}{R_B R_L}\right)^{1.2} \frac{1}{i_r A_\Omega \alpha_\Omega^{1.5}} \quad (7)$$

Las expresiones anteriores están en función de la intensidad de la precipitación efectiva (i_r), las relaciones de orden de Horton de áreas (R_A), de bifurcación (R_B), de longitudes (R_L), la longitud media del curso de mayor orden (L_Ω), el área de la cuenca (A_Ω), el parámetro del modelo de onda cinemática curso de mayor orden (α_Ω), siendo Ω el orden de la cuenca.

La determinación de los momentos de primer y segundo orden de las fdp de q_p y t_p permiten obtener una medida de la incertidumbre asociada a la estimación del HUI. Las expresiones de las esperanzas y varianzas son:

$$E(q_p) = \frac{0.8873}{A^{0.4}} \quad (8)$$

$$\sigma_{qp}^2 = \frac{0.1442}{A^{0.8}}$$

$$E(t_p) = 1.4892 M^{0.4} \quad (9)$$

$$\sigma_{tp}^2 = 2.3731 M^{0.8}$$

Para una tormenta de intensidad efectiva i_r , se puede estimar q_p y t_p en función de las características geomorfológicas de la cuenca como:

$$q_p = \frac{1}{A^{0.4}} \quad (10)$$

$$t_p = M^{0.4} \quad (11)$$

El HUI permite obtener el hidrograma de salida de una cuenca mediante su convolución con la precipitación efectiva. Si las estimaciones de q_p y t_p son adecuadas la forma del HUI no es crítica y una aproximación, suficientemente satisfactoria, puede ser la triangular (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1982b). La relación entre las características del HUI triangular y el hidrograma de salida fueron definidas por Henderson (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1982b; Bras, 1990). El caudal máximo del hidrograma (Q_p) producido por una precipitación efectiva de intensidad constante i_r y duración t_r es:

$$\frac{Q_p}{Q_e} = \frac{2 t_r}{t_b} \left(1 - \frac{t_r}{2 t_b} \right) \quad (12)$$

donde Q_e es el caudal de equilibrio, t_b el tiempo base del HUI triangular, igual al tiempo de concentración de la cuenca (t_c). La ecuación (12) es válida para duraciones $t_r \leq t_b$ y el caudal de equilibrio es $Q_e = i_r A_\Omega$.

Para forma triangular del HUI, $q_p \times t_p = 2$ y la ecuación de Q_p puede describirse como:

$$\frac{Q_p}{Q_e} = t_r q_p \left(1 - \frac{t_r q_p}{4} \right) \quad (13)$$

Para eventos de duraciones mayores a t_b el caudal máximo es $Q_p = i_r \times A_\Omega$. El tiempo de ocurrencia del caudal máximo del hidrograma de salida (T_p) puede calcularse para duraciones $t_r \leq t_b$ según la expresión aproximada obtenida por Rodríguez-Iturbe *et al.* (1979) en función de la duración de precipitación efectiva t_r y del tiempo de ocurrencia del máximo del HUI (t_p) como:

$$T_p = t_p + 0.75 t_r \quad (14)$$

Las ecuaciones anteriores son útiles ya que permiten estimar, sin convolución, las características más importantes del hidrograma de salida de una cuenca, Q_p y T_p para un evento de precipitación efectiva i_r y duración t_r .

Con el propósito de estudiar cómo la incertidumbre en la estimación de q_p influye en la estimación de Q_p , se obtuvieron expresiones de la esperanza y la varianza. Las nuevas expresiones derivadas son:

$$E(Q_p) = Q_e t_r \mu_{qp} - \frac{Q_e t_r^2}{4} (\sigma_{qp}^2 + \mu_{qp}^2) \quad (15)$$

$$\sigma_{Q_p}^2 = Q_e^2 t_r^2 \left[\frac{0.1442}{A^{0.8}} + \frac{t_r}{2} \left(\frac{0.5621 t_r}{8 A^{1.6}} - \frac{0.2754}{A^{1.2}} \right) \right] \quad (16)$$

RESULTADOS

Las expresiones derivadas en este trabajo se utilizaron con el propósito de evaluar cómo el aumento de fenómenos intensos de precipitación modifica las características más importantes del hidrograma de salida de una cuenca. La cuenca del río La Suela (Provincia de Córdoba) se seleccionó como caso de estudio, debido a la disponibilidad de observaciones de precipitación efectiva y caudal directo (Caamaño Nelli y Dasso, 1983). Los eventos de precipitación que se desarrollan en la cuenca son convectivos y sus crecientes, dadas las características de fuertes pendientes y escasa vegetación, son repentinas y de corta duración. Sus características geomorfológicas (Caamaño Nelli y Dasso, 1983) son: $R_A = 4.78$, $R_B = 3.69$, $R_L = 1.80$, $L_\Omega = 12.16$ km, $A_\Omega = 130.6$ km², $\alpha_\Omega = 0.517$ s⁻¹ m^{-1/3}, siendo el orden de la cuenca $\Omega = 5$.

El análisis de la capacidad de las expresiones derivadas para representar la respuesta de la cuenca para tormentas observadas se realizó utilizando cinco eventos de duración de precipitación efectiva entre 15 y 60 minutos. Los resultados muestran que las diferencias entre las estimaciones de Q_p obtenidas mediante la convolución del HUI del modelo de Nash y las derivadas con la forma triangular del mismo no son significativas, mientras que los valores de T_p estimados con la ecuación aproximada (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1979) y los obtenidos mediante la convolución del HUI del modelo de Nash, si bien son semejantes, presentan diferencias con respecto a los valores observados más importantes. En la Figura 1 se presentan dos ejemplos de los ajustes obtenidos.

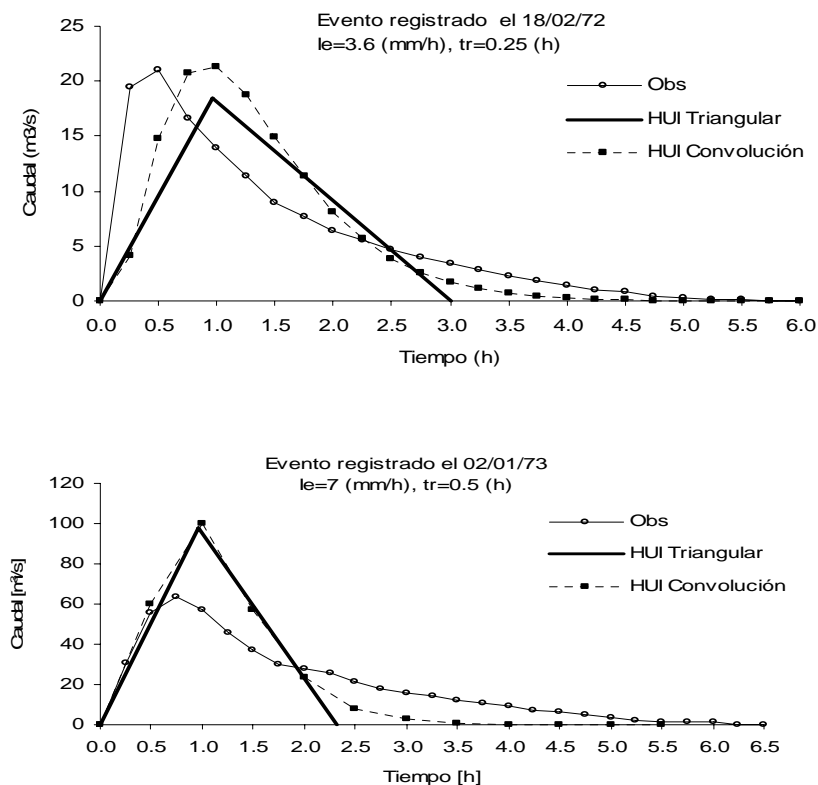


Figura 1. Hidrogramas observados y simulados.

Los cambios en las características del hidrograma de salida se estudiaron considerando incrementos del 50 al 250% de la intensidad efectiva, donde la condición actual está representada por una relación Intensidad Duración Frecuencia de período de retorno dos años con pérdidas porcentuales constantes para todas las duraciones. Como no se contaba con información que permitiera determinar las curvas IDF, se utilizaron relaciones representativas de regiones semiáridas (Figura 2), como son las de Santa Rosa (Provincia de La Pampa) (Mauriño, 2004) y las del piedemonte mendocino (INA, 2008). Estas últimas relaciones se emplearon a fin de lograr una representación de la importancia de los experimentos planteados (Figura 3).

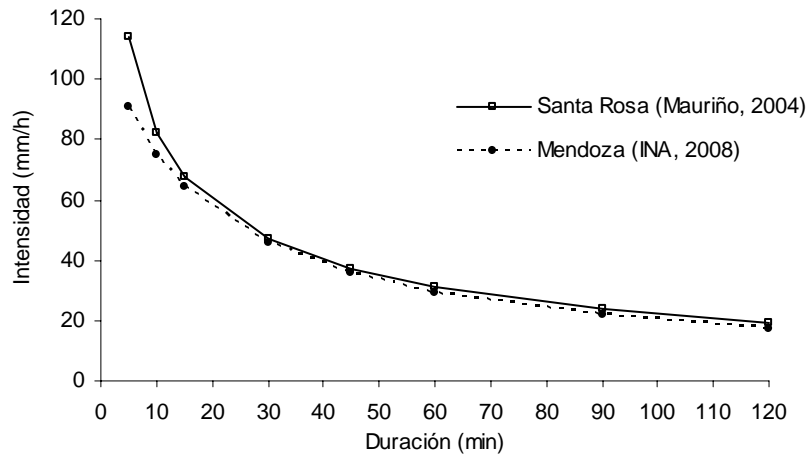


Figura 2. Relaciones IDF período de retorno dos años.

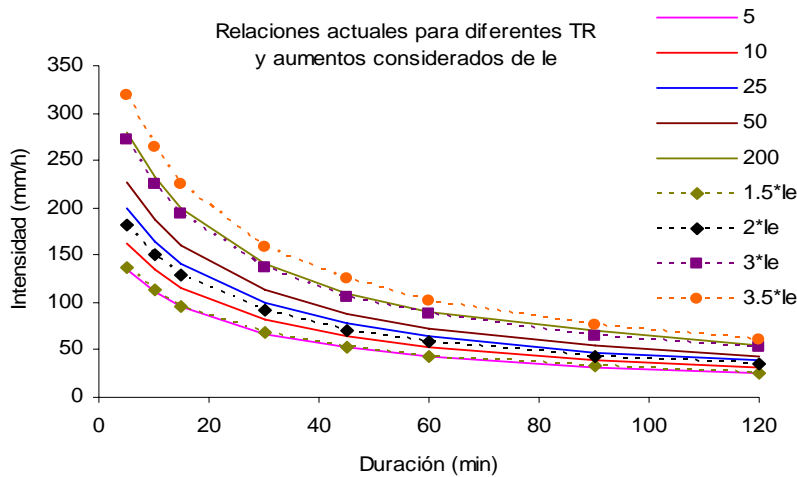


Figura 3. Comparación entre las condiciones actuales y los incrementos considerados.

La aplicación de las relaciones derivadas en este trabajo permitió estudiar cómo el incremento de eventos intensos modificaba las características del hidrograma. Los resultados muestran la importancia de los aumentos en los caudales máximos (Figura 4), en la incertidumbre de los mismos (Figura 5) y en las velocidades de la onda de la crecida (Figura 6), y de las disminuciones de los tiempos de ocurrencia de los máximos y del tiempo de concentración de la cuenca (Figura 7).

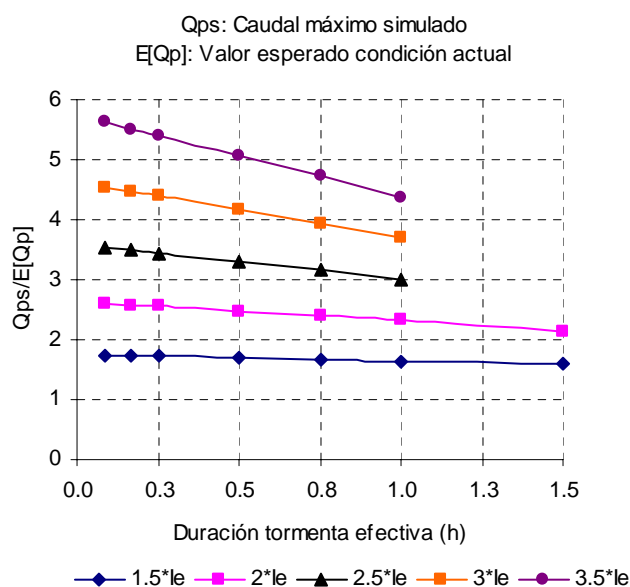


Figura 4. Variación caudales máximos.

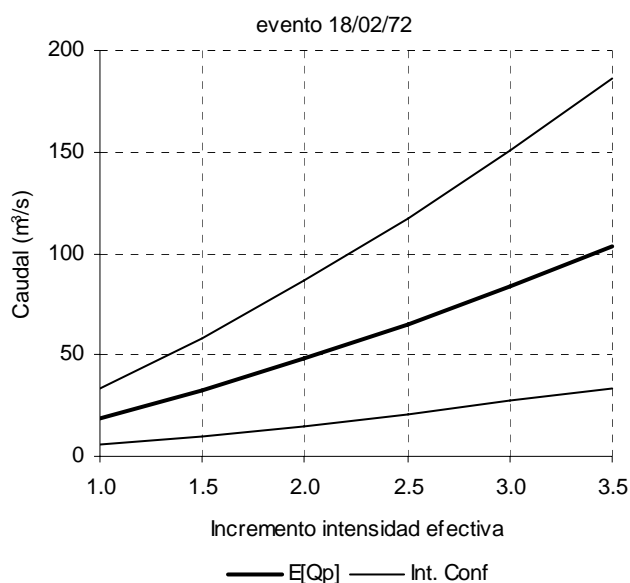


Figura 5. Variación en la incertidumbre de la estimación del caudal máximo.

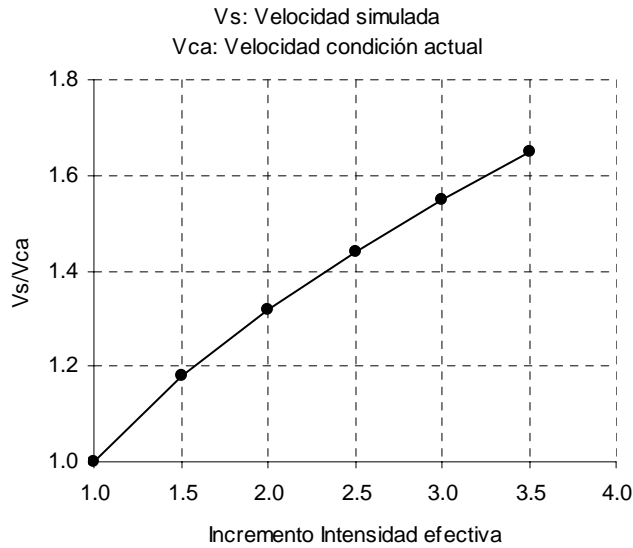


Figura 6. Variación velocidades del caudal máximo del hidrograma.

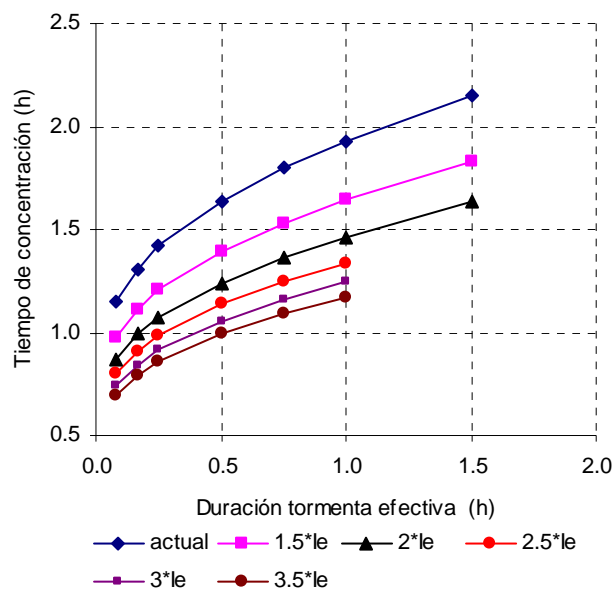


Figura 7. Variación tiempo de concentración de la cuenca.

CONCLUSIONES

Las expresiones derivadas emplean un enfoque probabilístico-determinístico para la representación del proceso precipitación-caudal, permitiendo obtener hidrogramas en función de información geomorfológica y climática, lo que resulta particularmente útil en cuencas con datos hidrológicos escasos. Además, estas relaciones permiten estimar la incertidumbre de los caudales máximos y representar el comportamiento no lineal de los sistemas hidrológicos. En este estudio se emplearon para analizar los cambios en las características más importantes del hidrograma de salida de una cuenca debidos al aumento de fenómenos intensos de precipitación. Los resultados muestran que estas expresiones pueden ser utilizadas para lograr estimaciones iniciales que pueden ser

utilizadas en el planteo de soluciones a problemas relacionados con la intensificación de eventos extremos máximos.

BIBLIOGRAFÍA

- ARNELL, N.; LIU, C.; COMPAGNUCCI, R.; DE CUNHA, L. ; HANAKI, K.; HOWE, C.; MAILU, G.; SHIKLOMANOV, I. y STAKHIV, E. 2001. Hydrology and water resources. Pp. 195-200 en: McCarthy, J. J., O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken, K. S. White (eds.). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- BRAS, R.L. 1990. Concepts of fluvial geomorphology. Pp. 598 en: *Hydrology an Introduction to Hydrologic Science*. Addison -Wesley Publishing Company, Inc.
- CAAMAÑO NELLI, G. y DASSO, C. M. 1983. Geomorfología aplicada a sistemas hidrológicos lineales. Verificación y comparación de Hidrogramas Unitarios Instantáneos de base geomorfológica. *XI Congreso Nacional del Agua*.
- INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA), 2008. Relaciones IDF para el piedemonte del Gran Mendoza. www.ina.gov.ar.
- MAURIÑO, M.F. 2004. Generalized rainfall-duration-frequency relationships: Applicability in different climatic regions of Argentina. *Journal of Hydrologic Engineering* 9: 269–274.
- NASH, J.E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph. International Association for Scientific Hydrology. Assemblée Générale de Toronto. Tomo III, 114-121.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I.; DEVOTO, G. y VALDÉS, J. B. 1979. Discharge response analysis and hydrologic similarity: The interrelation between the geomorphologic IUH and storm characteristics. *Water Resour. Res.* 5 (6): 1435-1444.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I., GONZÁLEZ-SANABRIA, M. y BRAS, R.L. 1982a. The geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. *Water Resour. Res.* 18 (4): 877-886.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I.; GONZÁLEZ-SANABRIA, M. y CAAMAÑO, G. 1982b. On the climatic dependence of the IUH: A rainfall-runoff analysis of the Nash model and the geomorphoclimatic theory. *Water Resour. Res.* 18 (4): 887-903.
- ROSSO, R. 1984. Nash model relation to Horton order ratios. *Water Resour. Res.* 20 (7): 914-920.

CONSECUENCIAS DE EL NIÑO 2002 SOBRE LAS LAGUNAS DE TRENQUE LAUQUÉN Y POZUELOS

Consequences in Trenque Lauquen and Pozuelos Lagoons from El Niño 2002

Alejandro Esteban Maggi* y Stella Maris. Navone

Facultad de Agronomía U.B.A.
Av. San Martín N° 4453 Capital Federal
*maggi@agro.uba.ar

RESUMEN

Desde hace años se han desarrollado numerosos estudios que demuestran las oscilaciones climáticas provocadas por El Niño y La Niña. El propósito de este trabajo fue estudiar algunos efectos sobre la laguna de Pozuelos en Jujuy y las superficies inundadas en el partido de Trenque Lauquén en Buenos Aires, durante El Niño 2002-2003. Se consideró Evento El Niño este año tal como lo reportan en la lista del consenso (WRCC, CDC, CPC y MEI). Se utilizaron imágenes satelitales Landsat de septiembre de 2003 y SAC C de diciembre de 2002, provistas por CONAE. En la laguna de Pozuelos se observó una fuerte disminución en el espejo de agua alcanzando solo 59.78 ha cuando la misma puede llegar a ocupar más de 12000 has. Esta retracción de la laguna afecta la producción de biomasa vegetal, a la fauna y la alimentación de animales domésticos. También obliga a la migración de los flamencos. La lluvia en Abra Pampa para el período julio de 2002 a junio de 2003 fue 295 mm mientras que la media entre 1970 y 2003 del período monzónico es 342 mm. En Trenque Lauquén, llovió 1090 mm entre noviembre de 2001 y noviembre de 2002, mientras que el promedio de ese período entre 1970 y 2007 es 851,6 mm, inundándose el 3,14 % de la superficie total del partido, triplicando la superficie bajo agua respecto de los años normales. Considerando solamente el total de las tierras inundadas en 2002, se midieron 11433 ha (66,33 %) de uso agrícola ganadero, pertenecientes a Hapludoles (énticos, típicos y thapto árgicos). Mientras que las tierras inundadas de uso exclusivo ganadero, Natracualf típico, suman 854 ha (4,96 %), los Haplustoles énticos de vocación granadera agrícola sumaron 567 ha (3,29 %), y el resto son lagunas permanentes.

Palabras claves: El Niño, producción, ambiente, lagunas.

SUMMARY

Several studies have been developed to show the climatic oscillations caused by El Niño and La Niña. The main goal of this work was to study some effects on Pozuelos lagoon in Jujuy and the changes in the surfaces of the water bodies which were flooded during El Niño 2002-2003, in Trenque Lauquén Buenos Aires. The consensus list (WRCC, CDC, CPC and MEI) was taken account to considerer as El Niño year.

Satellite images were used: Landsat 5 TM, September 2003 and SAC C, December 2002, provided by CONAE.

In Pozuelos lagoon a strong diminution in the water body near to 59,78 ha was showed, when the same can reach more than 12000 ha.

This retraction of the lagoon affects the production of vegetal biomass; fauna and the feed required by domestic animal, as well as, the flamenco must migrate.

The rainfall in Abra Pampa from July 2002 to June 2003 was 295 mm whereas the average one between 1970 and 2003 in the monsoon period is 342 mm. In Trenque Lauquén rained 1090 mm between November 2001 and November 2002 whereas the average of that period between 1970 and 2007 is 851,6 mm. The 3,14% of the total surface in Trenque Lauquén was flooded. The surface under water was three times larger than respect to normal years. Only considering the total of the soil flooded in 2002: 11433 ha. (66,33%) with cattle breeding and crop use, corresponding to (entic, typical and thapto argic) Hapludols, were measured. Meanwhile the flooded lands used as rangeland, which are typic Natracualf, added 854 ha. (4,96%), the entic Haplustols used as rangeland and crop fields totalized 567 ha. (3,29%). The rest is the surface occupy by ponds and lagoons.

Key word: El Niño, production, environmental, lagoons

INTRODUCCION

El fenómeno conocido como Oscilación del Sur El Niño (*El Niño-Southern Oscillation*, ENSO), se caracteriza por un episodio que se inicia en el océano Pacífico tropical, cerca de Australia e Indonesia, y con él se altera la presión atmosférica en zonas muy distantes entre sí, se producen cambios en la dirección y en la velocidad de los vientos y se desplazan las zonas de lluvia en la región tropical. Durante el fenómeno de "la Niña", las zonas relativamente húmedas y lluviosas se localizan en el sudeste asiático, mientras que América del Sur se mantiene relativamente seca.

El oeste de la provincia de Buenos Aires está expuesto a ciclos periódicos de inundaciones y sequías. Estos procesos se desarrollan en un paisaje de características topográficas muy particulares, sin una red de drenaje superficial organizada. En el año 1884 el Dr. Florentino Ameghino formulaba el desafío a resolver: "Establecer los medios para poder dar desagüe en los casos urgentes, a aquellos terrenos anegadizos, expuestos al peligro, expuestos a una inundación completa durante una época de excesivas lluvias, pero impedir este desagüe en las estaciones de lluvias menos intensas y sobre todo en regiones expuestas sólo a inundaciones parciales o limitadas y aprovechar las aguas que sobran en tales épocas para regar los campos en estaciones de seca, ejecutando trabajos que impidan que esas aguas inunden los terrenos bajos, sin necesidad de darles desagüe a los grandes ríos ni al océano"

A más de un siglo de este planteo, estos ciclos se siguen sucediendo y no se ha alcanzado la solución para este problema. El partido de Trenque Lauquén es un sector bien representativo de la región oeste.

Por otra parte, en el extremo noroeste de la Argentina, la Puna se presenta como una altiplanicie por encima de los 3500 m s.n.m. y de clima árido. Corresponde a parte de las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. La vegetación preponderante es de estepa arbustiva y en zonas asociadas a cuerpos o cursos de agua se puede encontrar humedales. Tiene una fuerte estacionalidad de las lluvias que se presentan concentradas durante los meses de verano. Existe una marcada amplitud térmica con temperaturas, características de zonas áridas.

No existen grandes ríos que recorran la región, siendo las cuencas endorreicas con salares o lagunas en los piedemontes el sistema de drenaje más importante.

Las precipitaciones de la puna, como se ha demostrado en otros ecosistemas áridos, sufre una gran variabilidad interanual (Ezcurra, 2006). La disponibilidad de agua pluvial es fundamental en numerosos procesos que afectan desde los procesos físico-químicos hasta la productividad primaria neta de los autótrofos, regula las poblaciones de herbívoros y determina la disponibilidad de agua para los hombres. Las oscilaciones en el clima también afectan en forma marcada la productividad de los pastizales en la puna jujeña, provocando mortandad de animales.

Se han realizado numerosos estudios a partir de documentos históricos, así como con técnicas paleoclimáticas de estudio que demuestran la existencia de oscilaciones del clima y particularmente de las precipitaciones en el Altiplano a lo largo de la historia del planeta (Quinn y Neal, 1983; Ropelewski y Halpert, 1987; Prieto y García Herrera, 2008;). Por otra parte, algunos trabajos realizados en la puna han evaluado los cambios superficiales de las lagunas y otras geoformas a partir de imágenes satelitales y su relación con cambios en el clima. (Maggi *et al.*, 2005 y Kindgard *et al.*, 2008).

El propósito de este trabajo fue estudiar los cambios en la superficie de los espejos de agua sobre la laguna de Pozuelos en Jujuy y las superficies inundadas en el partido de Trenque Lauquén en Buenos Aires, durante el evento El Niño 2002-2003.

MATERIALES Y METODOS

El fenómeno ENSO no tiene una única definición. Hay diferentes criterios para determinar los años con eventos Niño, Niña o Neutros. A veces se llega a un consenso, con el agregado de si es un fenómeno fuerte o débil (Null, 2007).

Se considero Evento El Niño este año tal como lo reportan en la lista del consenso (WRCC, CDC, CPC y MEI). Centro del Clima Regional del Oeste (Western Regional Climate Center - WRCC); CDC- Climatic Data Center; CPC Climate Prediction Center Centro De Predicciones Climáticas y Multivariate ENSO Index (MEI).

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat de septiembre de 2003 y SAC C de diciembre de 2002, provistas por CONAE.

Para el estudio de Pozuelos se escogieron escenas correspondientes a los meses de agosto o septiembre ya que éstos coinciden con el final de la época seca o antes del inicio del ciclo monzónico.

La Laguna de Pozuelos al poseer un cuerpo de agua homogéneo permitió el uso del algoritmo SAM para clasificar el área con agua de las lagunas. Mediante el ajuste de las Rule Images se logró identificar los cuerpos de agua que fueron exportados como shapefile, se vectorizó la clasificación y se calculó la superficie cubierta por el espejo de agua.

Las imágenes Path 232 Row 075 fueron registradas a partir de imágenes ortorrectificadas del GLCF UTM 19S WGS84.

Las precipitaciones correspondientes a los años estudiados fueron obtenidas de los registros de la estación meteorológica del INTA Abra pampa. La misma se ubica a 22° 48' 10.29" de latitud sur y 65° 49' 27.74" de longitud oeste a 3454 m s.n.m. Esta estación se encuentra 47 km al sudeste de Pozuelos. Se obtuvieron y ordenaron las precipitaciones, considerando la estación monzónica. Se reprocesaron para representar la estación lluviosa del año, de modo que los valores acumulados para el año 2000 corresponden a los meses de julio-diciembre del 1999 más los valores registrados en el 2000 de enero a junio (Figuras 1 y 2).

Para el partido de Trenque Lauquén las lluvias se obtuvieron a partir del Servicio Meteorológico Nacional, se ordenaron de diciembre a noviembre, ya que el

crecimiento del cultivo de la soja se produce entre noviembre hasta mayo y, además, por lo general en el mes de noviembre la demanda atmosférica todavía no borra los efectos de un año previo con exceso hídrico.

Para estudiar qué tierras fueron afectadas durante la inundación del 2001, se utilizó el programa Arc Gis que permite realizar análisis espaciales entre los polígonos del shapefile de superficie bajo agua, generado a partir de datos satelitales, con los polígonos del archivo correspondiente al mapa de suelos generado por el INTA Castelar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la laguna de Pozuelos se observó una fuerte disminución en el espejo de agua alcanzando solo 59,78 has cuando la misma puede llegar a ocupar más de 12000 ha (Figura 1).

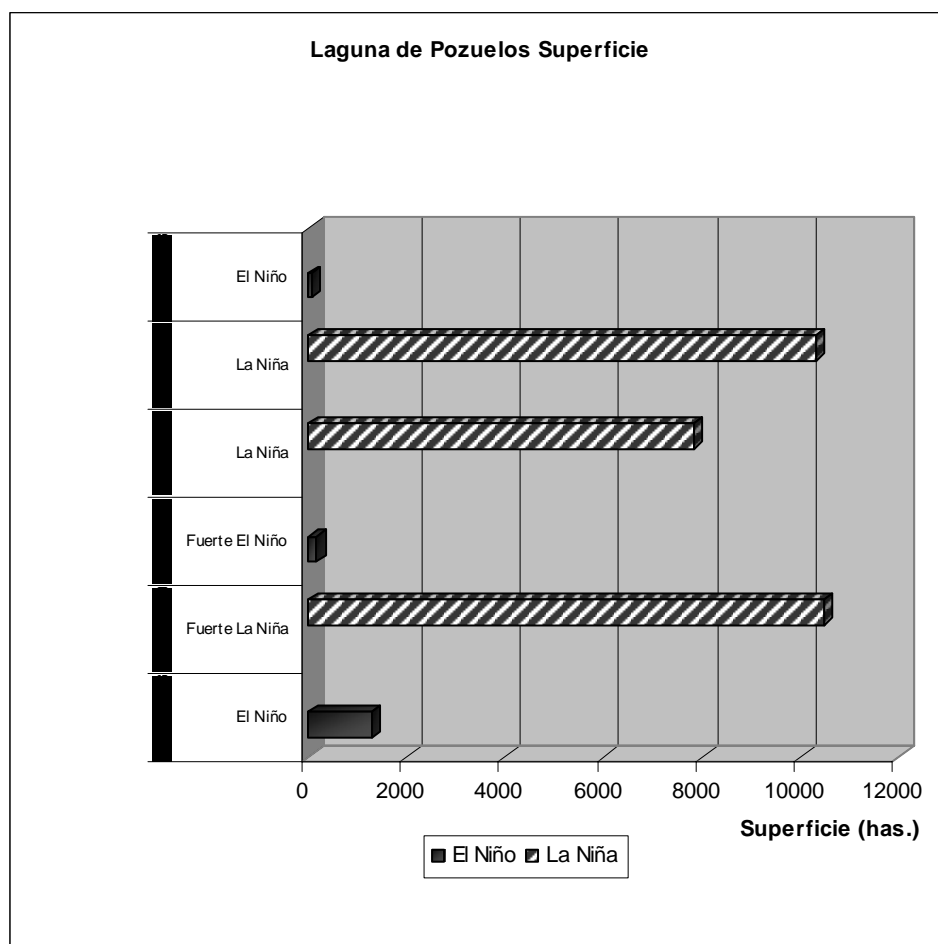


Figura 1. Superficie de la Laguna de Pozuelos en años El Niño y La Niña.

Esta retracción de la laguna indica una disminución en la producción de biomasa vegetal y afecta la fauna y la alimentación de animales domésticos. También obliga a la migración de los flamencos. La lluvia en Abra Pampa para el periodo julio de 2002 a junio de 2003 fue 295 mm, mientras que la media entre 1970 y 2003 del período

monzónico es 342 mm. Sin embargo, para la Laguna de Pozuelos, cuando se lo compara con otros eventos El Niño, solamente durante los eventos considerados fuertes o de elevada magnitud, donde existe coincidencia entre las distintas metodologías para la determinación de un evento Niño o Niña (WRCC, CDC, CPC y MEI), se observa una relación directa entre las precipitaciones y el crecimiento o disminución las superficies de la Laguna como ocurrió en 1989 Fuerte Niña y 1998 Fuerte Niño, respectivamente (Figura 1 y 3).

Adicionalmente, debemos considerar la evidencia científica que demuestra que los futuros eventos El Niño se manifestaran con anomalías del clima más extremas y más frecuentes a causa del calentamiento global (Meehl *et al.*, 1993, Meehl y Washington, 1993; Meehl, 1996).

Por otra parte, en Trenque Lauquén llovió 1090 mm entre noviembre de 2001 y noviembre de 2002, mientras que el promedio de ese período entre 1970 y 2007 es 851,6 mm, inundándose el 3,14 % de la superficie total del partido, triplicando la superficie bajo agua respecto de los años normales. Considerando solamente el total de las tierras inundadas en 2002, se midieron 11433 ha (66,33 %) de uso agrícola ganadero, pertenecientes a Hapludoles (énticos, típicos y thapto árgicos). Mientras que las tierras inundadas de uso exclusivo ganadero, Natracualf típico, suman 854 ha (4,96%), los Haplustoles énticos de vocación ganadera agrícola sumaron 567 has (3,29%) y el resto son lagunas permanentes (Figura 2).

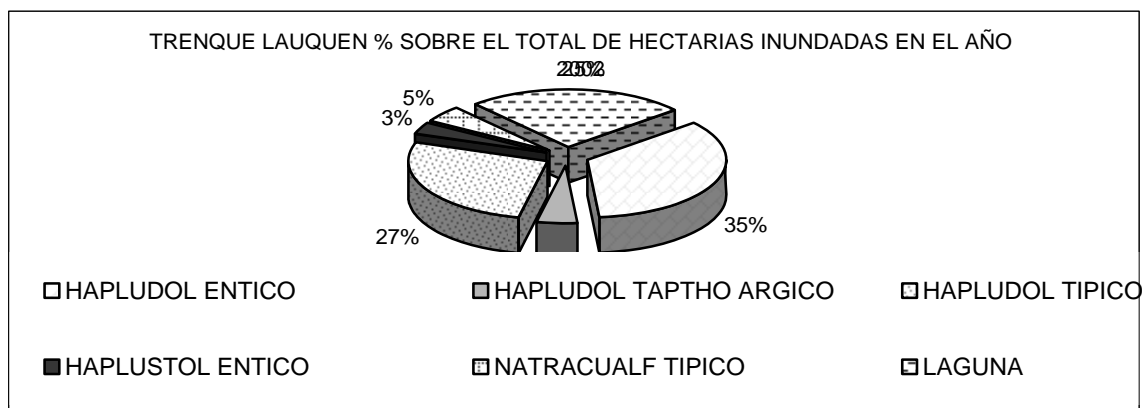


Figura 2. Porcentaje de superficie inundada en el partido de Trenque Lauquén en diciembre de 2002, según la clase taxonómica (Soil Taxonomy).

Las manifestaciones y efectos de un mismo evento mostraron consecuencias disímiles, mientras en la Laguna de Pozuelos durante los eventos El Niño 2002 se observa una sequía o reducción de la laguna a su mínima expresión, medida en septiembre de 2003, provocando una disminución de la producción de biomasa vegetal y obligando a la migración de los flamencos, en el partido de Trenque Lauquén las lagunas se desbordan para comprometer tierras productivas que habitualmente tienen un uso agrícola ganadero.

Laguna de Pozuelos 19 de Septiembre de 1998

Landsat 5 TM RGB: 5-4-3

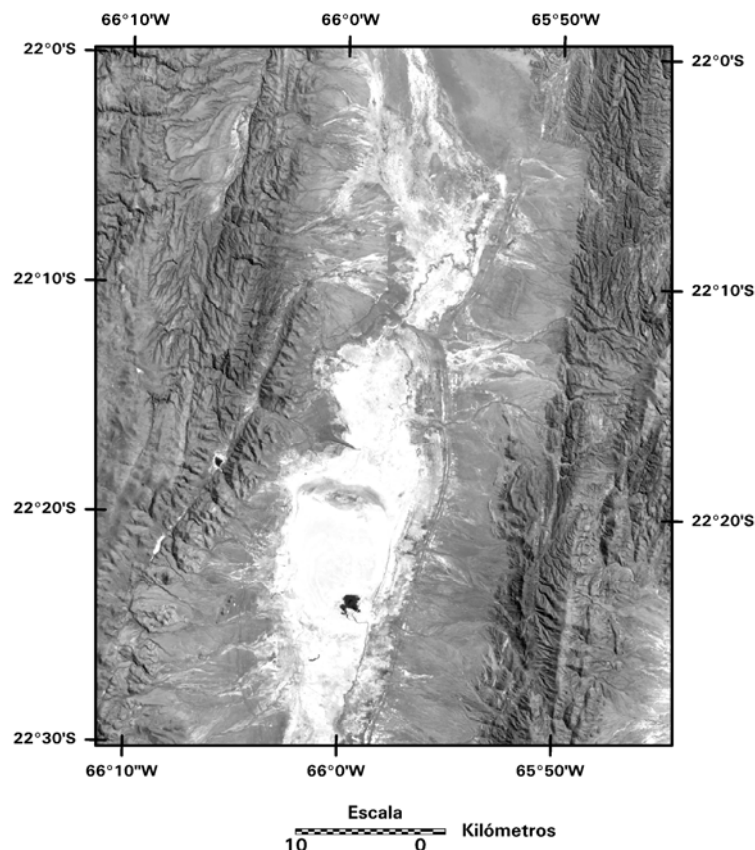


Figura 3. Imagen Landsat Laguna de Pozuelos.

CONCLUSIONES

En el partido de Trenque Lauquén el 75% de la superficie cubierta por agua (128 km²), como consecuencia del fenómeno El Niño del año 2002, correspondían a tierras productivas.

La laguna de Pozuelos alcanza uno de sus niveles más bajos debido al evento El Niño 2002 (0,59 km²).

A pesar de las grandes diferencias climáticas y de uso de la tierra, existentes entre ambas regiones, se puede observar frente a la ocurrencia del mismo evento El Niño 2002, la existencia de emergencias ambientales de características opuestas y extremas (sequía e inundación).

El uso de imágenes satelitales permitió el monitoreo, la identificación y cuantificación de las diferentes clases de uso de la tierra afectadas como consecuencia de la sequía en la laguna de Pozuelos y por la inundación y desborde de las lagunas en Trenque Lauquén.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión de Actividades Espaciales (CONAE) por la provisión de las imágenes satelitarias. Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Castelar por los archivos con datos de suelos, al INTA Abra Pampa y el Servicio Meteorológico Nacional SMN por la provisión de los datos meteorológicos y la Universidad de Buenos Aires por el financiamiento del Proyecto UBACyT G423.

BIBLIOGRAFIA

- CENTRO DE ESTUDIOS SOCIALES Y AMBIENTALES / Informe Final IAI 2004 ENSO-Argentina II-10.
- EXCURRA E. 2006. Natural history and evolution of the World's deserts. Chapter 1. Pp 1-26. E. Excurra. *Global Deserts Outlook*. UNEP.
- KINDGARD, F.A.; NAVONE, S.M. y MAGGI, A. 2008. Determinación de los efectos del fenómeno ENSO y las variaciones de precipitaciones a través de sensores remotos en una cuenca endorreica de la puna semiárida. *XIII Simposio Internacional de la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial*, La Habana Cuba. Recursos Naturales y Medio Ambiente. Tema 9 Doc.18. ISBN 978-959-247-063-7 Editorial Obras UNAICC.
- MAGGI, A.; NAVONE, S.; BARGIELA, M. y INTROCASO, R. 2005. Monitoring the global change detection using landforms and Landsat 5 TM. *International Geographical Union. Proceedings of Environmental Change and Rational Water Use*. Orientación Grafica Editora- 1ª ed- Buenos Aires. Argentina. 160:76.
- MEEHL, G.A. y WASHINGTON, W.M. 1993. South Asian summer monsoon variability in a model with doubled atmospheric carbon dioxide concentration. *Science*, (260): 1101–1104.
- MEEHL, G.A. 1996. El Niño-like climate change in a model with increased atmospheric CO2 concentrations. *Nature*, (382):56–60.
- MEEHL, G.A.; BRANSTATOR, G.W. y WASHINGTON, W.M. 1993. Tropical Pacific interannual variability and CO2 climate change. *J. Climate* Vol.6:42–63.
- NULL, J. 2007. El Niño & La Niña Years: A Consensus List. <http://ggweather.com/enso/years.htm>.
- PRIETO, M.; DEL ROSARIO M. y GARCÍA HERRERA, R. 2008. Documentary sources from South America: Potential for climate reconstruction. PALAEO-04827 *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* en prensa
- QUINN, W.H. y NEAL, V.T. 1983. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Journal of Geophysical research*, Vol. 92, N° C13:449-14:461.
- Report on The IAI Workshop on ENSO and Interannual Climate Variability, July 12-15, 1994. Lima, Peru.
- ROPELEWSKI, C.F. and HALPERT, M.S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation. *Monthly Weather Rev.* 115 (8):1606–1626.

VARIABILIDAD DECADAL DE LAS SITUACIONES HÍDRICAS EXTREMAS EN EL CENTRO-NORESTE ARGENTINO

Decadal Variability of the extreme water conditions in the centre- Northeast of Argentina

Olga C. Penalba ^{*1}, Vanesa C. Pántano¹, Liliana B. Spescha ² y Guillermo M. Murphy ²

¹ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, UBA.
Ciudad Universitaria, Pabellón II, Piso 2, Argentina.

² Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía. UBA,
Argentina.

*penalba@at.fcen.uba.ar

RESUMEN

El clima y su variabilidad representan uno de los factores más importantes a tener en cuenta en muchas actividades productivas. Dicha variabilidad depende principalmente del cambio en la frecuencia de ocurrencia o la intensidad de los eventos extremos. Las condiciones hídricas extremas son de especial relevancia para el desarrollo de los cultivos, produciendo un impacto socio económico en las zonas afectadas.

El objetivo de este trabajo es analizar la variabilidad decadal de las situaciones hídricas extremas del suelo en la región centro-noreste de la Argentina.

Los datos utilizados fueron la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas mensuales, en 35 estaciones en el período 1960-2008. A partir del Balance Hidrológico Seriado mensual se analizó para cada estación astronómica la variabilidad decadal de la cantidad porcentual de déficit (exceso) y déficit extremo (exceso extremo).

En términos generales, la región se encuentra en condiciones deficitarias, siendo la zona más desfavorable al oeste del meridiano 60°. La década 1960 fue la más extrema, por su intensidad, dominio espacial y temporal; mientras que las décadas del 70, 90 y 2000 presentaron condiciones deficitarias extremas en otoño, invierno y primavera, respectivamente. Con respecto a las condiciones de exceso, la región de la Mesopotamia presenta la mayor probabilidad de ocurrencia. Al analizar estas situaciones hídricas extremas, el resultado fue más sectorizado, dependiendo de la época del año y década.

En este contexto, la agricultura argentina extensiva ha experimentado transformaciones de gran magnitud: aumento de la superficie sembrada con cultivos y su productividad; cambios en la importancia relativa de los cultivos; incorporación de nuevas tecnologías de alto impacto. Anticipando las condiciones probables de los eventos hídricos extremos, el sector agropecuario podrá adaptarse gradualmente al cambio climático.

Palabras clave: situaciones hídricas, Pampa Húmeda, extremos

SUMMARY

The climate and its variability represent one of the most important factors to take into account in many productive activities. Such variability mainly depends on the change in the frequency of occurrence or the intensity of extreme events. The extreme hydric conditions play an important role in the development of the crops producing a socio-economic impact in the affected zones.

The objective of this work is to analyze the decadal variability of the extreme water conditions of the soil in the centre- north east region of Argentina.

Monthly data of precipitation and maximum and minimum temperatures have been used in 35 stations for the period 1960-2008. From the Water Balance, the decadal variability of the percentage amount of deficit (excess) and extreme deficit (extreme excess) was analyzed for each season.

In general, the region is under deficit conditions, where west of 60°W is the most unfavourable zone. The 1960 decade was the most extreme because of its intensity and spacio-temporal domain; while the 70s, 90s and 2000 decades presented extreme water conditions in autumn, winter and spring, respectively. Regarding the excess conditions, Mesopotamia region presents the greatest probability of occurrence. Analyzing these extreme water conditions, the result was more sectorized, depending on the season and decade.

In this context, the extensive agriculture has experimented changes of great magnitude: increase in the surface sown with crops and its productivity; changes in the relative importance of the crops; incorporation of new high impact technologies. Anticipating the probable conditions of the extreme water events, the agricultural sector will be able to gradually adapt to the climate change.

Key words: water conditions; Pampa Húmeda; extremes

INTRODUCCIÓN

La variabilidad y el cambio climático tienen su génesis en el sistema integrado tierra-atmósfera, afectando a todos los componentes del sistema climático. El impacto del calentamiento global observado en el medio ambiente y en las actividades del hombre depende principalmente del cambio en la frecuencia de ocurrencia o la intensidad de los eventos extremos. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) indica que los impactos del cambio climático serán particularmente advertidos a través de cambios en los eventos extremos, y esos cambios son una expresión de la variabilidad climática. Por lo tanto, la naturaleza de la variabilidad a distintas escalas espaciales y temporales es vital para el entendimiento de los eventos extremos.

La frecuencia e intensidad de los mismos representa una gran preocupación para el hombre vinculado a actividades fuertemente dependientes de las condiciones climáticas, como la agrícola e hidrológica. Una de las variables meteorológicas más relevantes es la precipitación y, asociado a ésta, la situación hídrica del suelo, estimada a partir de los componentes del balance hídrico.

Para el estudio de la variabilidad de las condiciones hídricas del suelo, Vargas (1979, 1982) elaboró un Atlas de Excesos y Deficiencias de Humedad en la Región Húmeda y Semiárida Argentina. Teniendo en cuenta las propiedades específicas del suelo y distintas coberturas vegetales, Spescha et al (2005, 2006) evaluaron el riesgo de sequía en algunas provincias de la región pampeana a partir del balance hídrico seriado. Uno de los trabajos pioneros en usar esta metodología fue Pascale y Damario (1977). En esta línea de investigación, Minetti *et al.* (2006) identifican las sequías climáticas ocurridas durante el siglo pasado para la Pampa Húmeda y sus consecuencias sobre la productividad del maíz. Los resultados más importantes muestran que la región posee un régimen donde predominan las rachas secas de corta duración y que en la variabilidad interanual rápida el cultivo tiene una importante sensibilidad al agua precipitada en el trimestre de verano.

Siguiendo con el estudio de la humedad del suelo, numerosos trabajos analizan los cambios producidos a partir de distintos escenarios de cambio climático simulados con modelos regionales y de escala global. Entre ellos se puede citar a Whetton *et al.* (1993) quienes estudiaron la posibilidad de cambios en la frecuencia e intensidad de las inundaciones y sequías en respuesta al cambio global para Australia. Por otro lado, Entekhabi *et al.* (1991) analizaron la ocurrencia y duración de sequías en continentes, argumentando que la mayor contribución a las sequías persistentes, al igual que las condiciones de mucha humedad, se podrían deber a interacciones no lineales y mecanismos de feedback entre las componentes del ciclo hidrológico.

Entre los trabajos más recientes que analizaron la variabilidad temporal se puede citar a Minetti *et al.* (2003); Liebmann *et al.* (2004); Penalba y Vargas (2004), Boulanger *et al.* (2005); y Penalba y Robledo (2009). En la región de estudio, pampa húmeda, se ha evidenciado un aumento progresivo en la precipitación en las últimas décadas, desplazando hacia el oeste la frontera agrícola. Estos cambios, cuantificados en términos anuales, estacionales y mensuales, pueden alterar el ciclo hidrológico afectando al sector agrícola.

El objetivo de este trabajo es estudiar la variabilidad decadal de las situaciones hídricas en la región centro-noreste argentina para las distintas etapas fenológicas de los cultivos, con especial énfasis en los eventos extremos.

MATERIALES y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron datos mensuales de precipitación y temperaturas (máxima y mínima) de 35 estaciones, suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en el período 1960-2008 (Figura 1).

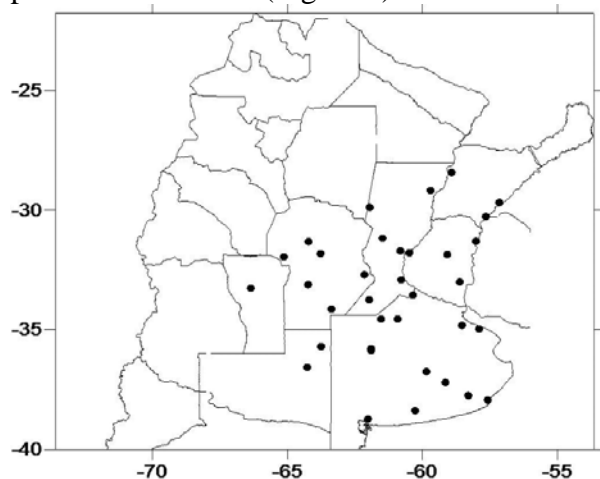


Figura 1. Ubicación de las estaciones utilizadas en el estudio.

La región de estudio comprende las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe. Las estaciones ubicadas fuera de la misma (San Luis y Corrientes) fueron utilizadas para dar un marco regional al estudio.

En este trabajo se estimaron los valores de evapotranspiración potencial mensual por el método de Thornthwaite (1948), el cual representa una buena estimación en climas templados húmedos (Hashemi y Habibian, 1979) y se calcula a partir de elementos meteorológicos de fácil acceso y buena calidad. Debido a que el mismo presenta limitaciones en climas áridos o muy húmedos, Murphy (2002) utilizó la modificación propuesta por Camargo *et al.* (1999) del cálculo de la temperatura efectiva. La utilización de esta temperatura permite obtener mejores estimaciones para elevados y bajos déficit de saturación, propios de los climas antes mencionados. A partir de la precipitación acumulada mensual y la estimación de la evapotranspiración se calculó el balance hidrológico mensual seriado. La metodología utilizada fue la

propuesta por Thornthwaite y Mather (1957) con las modificaciones de Forte Lay (1987), Forte Lay y Spescha (2001). Se utilizaron las capacidades de campo específicas para cada localidad, teniendo en cuenta las series de suelos características de cada lugar (Forte Lay y Spescha, 2001).

A partir de las componentes del balance hidrológico mensual, se estimó la situación hídrica ($SH = \text{exceso} - \text{déficit}$) para cada etapa fenológica de los cultivos, las cuales se pueden asociar a cada estación astronómica (verano: dic-ene-feb; otoño: mar-abr-may; invierno: jun-jul-ago; primavera: sept-oct-nov), constituyendo la variable principal de análisis en este trabajo. Las etapas fenológicas consideradas fueron las fechas medias de siembra (primavera) de los cultivos de verano: maíz, girasol y soja. Para estos cultivos, el período medio crítico del agua corresponde al verano (máxima evapotranspiración) y al otoño (fecha media de cosecha). El invierno, época del año previa a la siembra, corresponde al comienzo de las labores de preparación de la cama de siembra.

Se determinaron los umbrales a partir de los cuales se consideraron las situaciones hídricas extremas, para las etapas fenológicas analizadas: la situación hídrica favorable (definida como su percentil 80) y desfavorable (percentil 20). A partir de estos umbrales, se calculó para cada década el porcentaje de años con mayor disponibilidad de agua (situaciones hídricas estacionales superiores al percentil 80) y menor disponibilidad de agua (situaciones hídricas estacionales inferiores al percentil 20).

RESULTADOS

Variabilidad decadal

Con el fin de analizar la variabilidad decadal, se calcularon el valor medio y la desviación estándar de las situaciones hídricas para cada una de las décadas para las distintas etapas fenológicas. El análisis de la variabilidad temporal de estos estadísticos fue cualitativo. Esto se debió a que se contaba solamente con cinco décadas, limitando la aplicación de tests estadísticos y su significancia.

En las Figuras 2 y 3 se muestran los valores medios y la desviación estándar, respectivamente de las situaciones hídricas de verano para distintas estaciones. Cada una de ellas son representativas de las distintas situaciones hídricas en la región (zonas noreste; centro norte; centro sur y oeste). En términos generales, es interesante observar el aumento progresivo en el tiempo de las situaciones hídricas, indicando que en las últimas décadas la disponibilidad de agua es mayor. Esta situación ha permitido el incremento de la superficie sembrada con cultivos de verano, permitiendo una mayor productividad. Este resultado es consistente con los obtenidos por Rusticucci y Barrucand (2004) quienes encuentran una disminución en la amplitud térmica, dada por una tendencia positiva de temperaturas mínimas y tendencia negativa de temperaturas máximas en la región núcleo de la Argentina. Dado que la evapotranspiración es proporcional a una relación análoga a la amplitud térmica, la misma se ve reducida si la amplitud térmica disminuye, llevando a situaciones hídricas más favorables para el suelo.

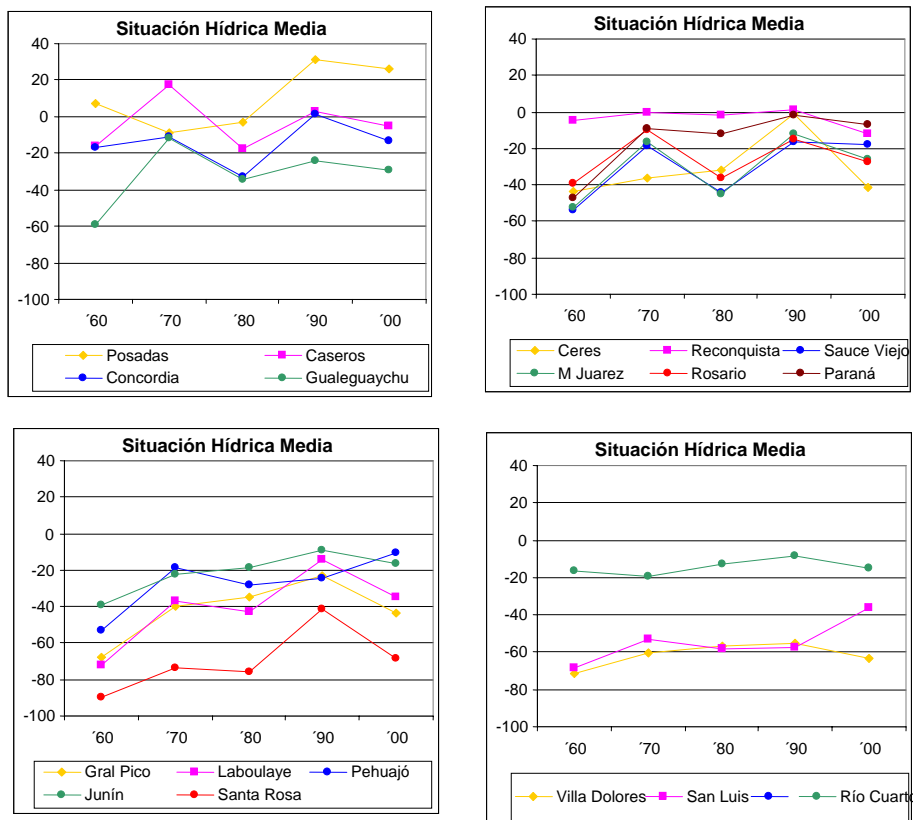


Figura 2. Valor medio de la situación hídrica de verano por década en la región(a) noreste, (b) y (c) centro y (d) oeste del país.

Por otro lado, en el centro de la región de estudio, se observan también situaciones hídricas favorables en las décadas del 70 y 90 y desfavorables para las décadas del 60 y 80. Estos resultados son consistentes con los mencionados por el IPCC (2007) que indica un período seco en la década del 60 seguido por un período relativamente húmedo en la década del 70. Para la región de estudio, la intensidad es mayor en las estaciones ubicadas en el centro norte, que aquellas ubicadas en el centro sur. Las estaciones Ceres y Reconquista no son coherentes con este comportamiento, posiblemente debido a que son las estaciones ubicadas más al norte de las 6 analizadas en la región centro-norte.

El aumento de los excesos en la estación otoñal constituye un inconveniente para las tareas de cosecha de los cultivos de verano (soja, maíz, girasol), de gran importancia económica en todo el sector centro y norte de la región (resultado no mostrado). Esto se manifiesta con encharcamientos del terreno, ablandamiento de la superficie que impide el paso de maquinarias, y mayor incidencia de enfermedades criptogámicas en las últimas etapas de los cultivos o durante la cosecha (Aristizábal, 2008). Finalmente, la estación invernal no presenta cambios importantes en el transcurso de las décadas, mientras que la primavera es la época con mayor variabilidad regional (resultado no mostrado).

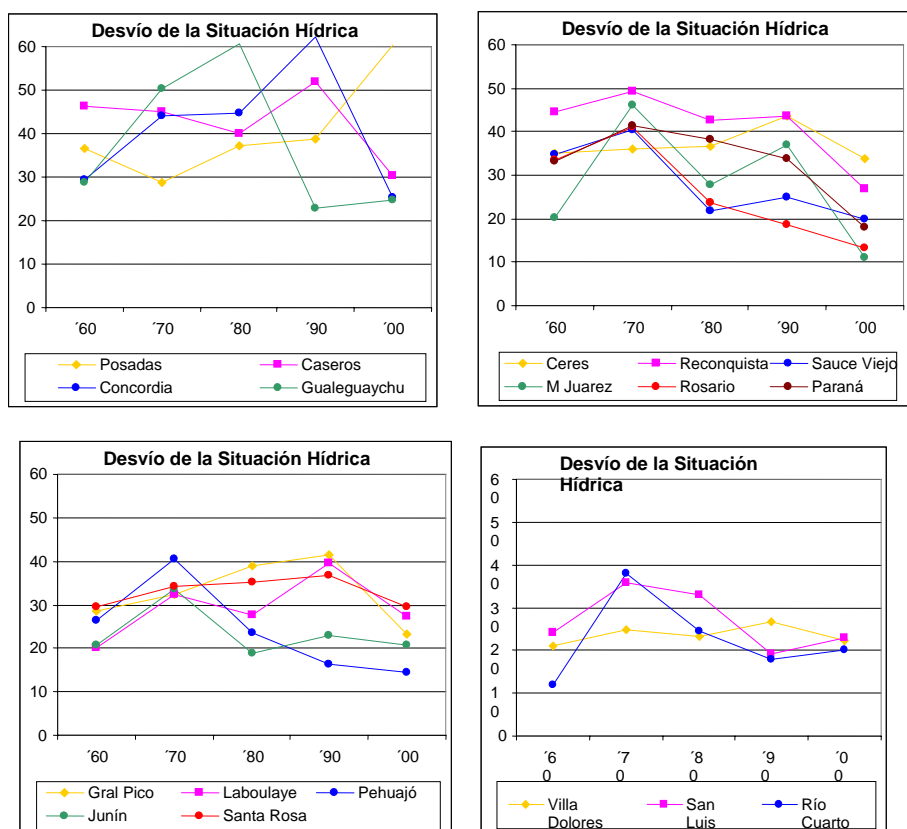


Figura 3. Desviación estándar de la situación hídrica de verano por década en la región (a) noreste, (b) y (c) centro y (d) oeste del país.

El análisis de la variabilidad interanual para cada una de las décadas presenta un comportamiento más sectorizado (Figura 3). Para la estación astronómica del verano se observa que en general para las estaciones ubicadas en la región centro, presentan un mínimo relativo de la desviación estándar en la década del sesenta, seguido por un máximo relativo en el setenta y una disminución en las últimas décadas. Por el contrario, la variabilidad aumenta con las décadas en las estaciones ubicadas en el noreste de la región de estudio.

En general se observa un aumento de la variabilidad interanual en toda la región de estudio entre las décadas 80 y 90, consistente con el trabajo de Penalba y Robledo (2009). Los autores observan un incremento en la cantidad de días con lluvias superiores a 0.1 mm en el verano para ese período.

La estación astronómica que mayor variabilidad presenta entre las décadas es la estación del otoño, mientras que el invierno es el que presenta menor variabilidad (no se muestran).

Variabilidad temporal extrema

Finalmente, se investiga si este aumento progresivo en determinadas etapas fenológicas de las situaciones hídricas está presente en la mayor y menor disponibilidad de agua. En la Figura 4 se muestra el porcentaje de años con menor disponibilidad de agua para cada una de las décadas, para el verano. En términos generales, la década de 1960 fue la más extrema, con menor disponibilidad de agua prácticamente en toda la región, para las

distintas etapas fenológicas. Las décadas del 70, 90 y 2000 presentaron condiciones de menor disponibilidad de agua. Sin embargo, su intensidad dependerá de la etapa fenológica y región.

Con respecto al análisis de mayor disponibilidad de agua, el resultado fue más sectorizado, dependiendo de la época del año y década (resultado no mostrado). Este comportamiento está ligado a la variabilidad espacial que presentan los eventos extremos tanto de temperatura (Rusticucci y Barrucand, 2004) como precipitación (Penalba y Robledo, 2009). Sin embargo, prácticamente toda la región presentó un alto porcentaje de años con buena disponibilidad de agua en el verano de la década del 90.

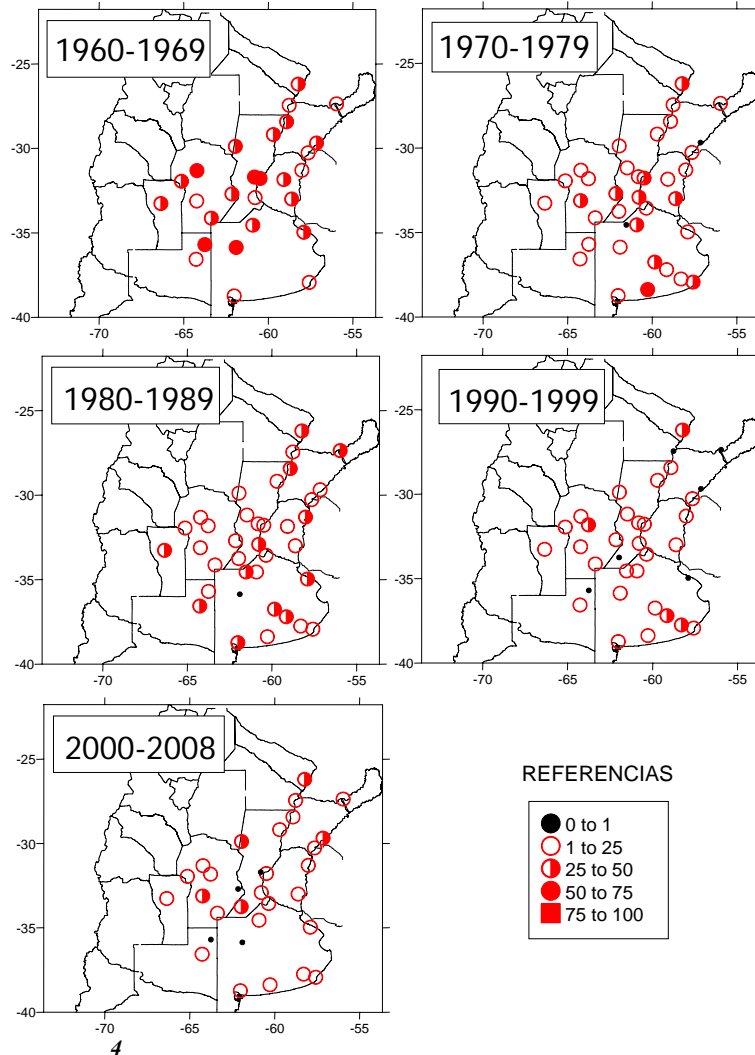


Figura 4. Menores disponibilidades de agua por décadas para el verano.

CONCLUSIONES

El clima y su variabilidad representan unos de los factores más importantes a tener en cuenta en muchas actividades productivas. Dicha variabilidad depende principalmente del cambio en la frecuencia de ocurrencia o la intensidad de los eventos extremos. Las condiciones hídricas extremas son de especial relevancia para el desarrollo de los cultivos, produciendo un impacto socio económico en las zonas afectadas. La pampa

húmeda ha evidenciado un aumento progresivo en la precipitación en las últimas décadas, desplazando hacia el oeste la frontera agrícola.

Al analizar la variabilidad temporal de la situación hídrica media se comprobó un aumento de los eventos extremos durante los últimos años, coherente con el incremento de la precipitación en la región. Los mayores excesos se producen en el otoño, incrementándose hacia el nordeste de la región. A su vez, se debe considerar que los efectos adversos de los mismos se potencian en áreas planas y deprimidas. En el verano se observan situaciones hídricas favorables en las décadas del 79 y 90 y desfavorables para las décadas del 60 y 80. La estación invernal no presenta cambios importantes en el transcurso de las décadas.

La variabilidad de la situación hídrica indica un aumento en toda la región de estudio entre las décadas 80 y 90 en el verano. La mayor variabilidad entre las décadas se observa en el otoño y en las estaciones ubicadas hacia el oeste de la región y el invierno es el que presenta menor variabilidad.

La década del sesenta presenta la mayor cantidad de eventos extremos. Se percibe, además, un mayor número de eventos extremos en el verano y en otoño sobre todo en los últimos años.

En este contexto la agricultura argentina extensiva ha experimentado transformaciones de gran magnitud: aumento de la superficie sembrada con cultivos y su productividad; cambios en la importancia relativa de los cultivos; incorporación de nuevas tecnologías de alto impacto.

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo fue solventado por los subsidios: UBACYT X170; G069 y BID 1728-AR-PICT 38273 CLARIS LPB (A Europe-South America Network For Climate Change Assessment and Impact Studies in La Plata Basin, FP7-ENV-2007).

BIBLIOGRAFIA

- ARISTIZÁBAL, J.M. 2008. Evaluación del ajuste de métodos de estimación de días útiles para cosecha en la zona de Pehuajó. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Agronomía- UBA.
- BOULANGER J.P., LELOUP J., PENALBA O., RUSTICUCCI M., LAFON F. y VARGAS W. 2005. Observed precipitation in the Paraná-Plata hydrological basin: Long-term trends, extreme conditions and ENSO teleconnections. *Climate Dynamics*, 24, 393-413.
- CARMARGO A. P., MARIN F. R., SENTELHAS P. C. y GIAROLA PICCINI A.; 1999. Ajuste de equação de Thornthwaite para estimar la evapotranspiração em climas árido y superhúmedo, com base na amplitude térmica diária. *Rev. Bras. Agrometeorología*, 7, 2: 251-257.
- ENTEKHABI D., RODRÍGUEZ-ITURBE I.Y BRAS R.L. 1991. Variability in Large-Scale Water Balance with Land Surface- Atmosphere Interaction. *Journal of Climate*. Vol 5.
- FORTE LAY J. A. y SPECHA L., 2001. Método para la estimación de la climatología del agua edáfica en las provincias pampeanas de la Argentina. *Revista Argentina de Agrometeorología* 1(1): 67-74.
- FORTE LAY J. A. y TROBA A., 1987. "Distribución de probabilidad de valores de humedad edáfica". *Geoacta* (AAGG). Vol. 14, N° 1. 141-152.

- HASHEMI F. y HABIBIAN M. T., 1979. "Limitations of temperature-based methods in estimating crop evapotranspiration in arid-zone agricultural development projects. *Agricultural Meteorology*, 20:237-247.
- IPCC 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.
- LIEBMAN B., VERA C., CARVALHO L.M., CAMILLONI I.A., HOERLING M.P., ALLURED D., BARROS V.R., BAEZ J. Y IDEGAIN M., 2004: An observed trend central South American Precipitation. *J Climate*, 17, 4357-4367.
- MINETTI J.L., VARGAS W.M., POBLETE A.G., ACUÑA L.R. Y CASAGRANDE G. 2003: Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera*, 16, 119-135.
- MINETTI J.L., VARGAS W.M., VEGA B. Y COSTA M.C., 2006: Las sequías en la Pampa Húmeda: Impacto en la productividad del Maíz. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, n.2, 218-232, 2007
- MURPHY G. M., HURTADO R. H., RODRÍGUEZ R. O., 2002. Evaluación de una modificación del cálculo de la evapotranspiración potencial por la metodología de Thornthwaite para su aplicación en la región pampeana. 9º Reunión Argentina de Agro. Vaquería, Córdoba. Vol 1, 175-176.
- PASCALÉ A. J. y DAMARIO E. A, 1977. El Balance Hidrológico Seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. *Rev. Fac. Agron. La Plata* (3a época), 53 (1-2): 15-34
- PENALBA O., VARGAS W., 2004. Interdecadal and Interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. Changes in the extreme precipitation seasonal cycle. *Int. J. Climatology*, 24, 12, 1565-1580.
- PENALBA O.C., ROBLEDO F.; Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. *Climatic Change*. 2009
- RUSTICUCCI Y BARRUCAND, 2004. Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina. *Journal of climate. Notes and Correspondence*.
- SPECHA L., MURPHY G.M., FORTE LAY J. A., HURTADO R. y SCARPATI O.E.; 2005/2006. Riesgo de sequía en la región pampeana. *Revista Argentina de Agrometeorología*. (5-6), 53-61.
- THORNTHWAITE C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geog. Review*. 38: 55-94
- THORNTHWAITE C.W. y MATHER J.R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. Drexel Institute of technology. *Publications in Climatology*. Vol. X. Nº 3. 185-311.
- VARGAS W.M., 1979. Atlas. Excesos y Déficits de Humedad en la Región Húmeda y Semiárida Argentina. Tomo 1. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, pag. 140
- VARGAS W.M., 1982. Atlas. Excesos y Déficits de Humedad en la Región Húmeda y Semiárida Argentina. Tomo 2. Centro de Investigaciones Biometeorológicas. pag. 141
- WHETTON P.H., FOWLER A.M., HAYLOCK M.R. Y PITTOCK A.B. 1993. Implications of Climate Change due to the enhanced greenhouse effect on floods and droughts in Australia. *Climate Change* 25: 289-317, 1993.

EFFECTOS DE LOS CAMBIOS GLOBALES SOBRE LA DIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE AMBIENTES ACUÁTICOS CONTINENTALES EN CHILE.

Effects of global changes on the diversity and ecosystem services in Chilean inland waters

Patricio De los Ríos^{1,*}, Patricio Acevedo², y Marcela Vega¹.

¹ Universidad Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ciencias Ambientales, Casilla 15 D, Temuco, Chile.

² Universidad de la Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Departamento de Física, Casilla 54-D, Temuco, Chile.

* prios@uct.cl

RESUMEN

Con el objeto de conocer los efectos de los cambios globales sobre la diversidad en ambientes acuáticos, y los servicios ecosistémicos, se llevó a cabo un análisis de tres casos, en la zona norte de Chile; Río Loa, norte de la Patagonia y sur de la Patagonia. Se concluye desde el punto de vista ambiental, que el Río Loa ha sido afectado por dos factores, naturales y antropogénicos, con los consecuentes efectos en los servicios ecosistémicos como consecuencia de la reducción de sus áreas para agricultura y ganadería de subsistencia de comunidades aborígenes así como de recursos hidrobiológicos. En el norte de la Patagonia, se encontró baja riqueza de especies de crustáceos, se advirtió la presencia de dos efectos reguladores, la radiación ultravioleta y condición trófica, debido a la alta oligotrofia y exposición a la radiación ultravioleta. Estos ecosistemas tienen la particularidad de brindan importantes servicios ecosistémicos en su condición de paisajes prácticamente no contaminados. Por último, al sur de la Patagonia existen alteraciones climáticas que causan efectos visibles como el retroceso de glaciares y secado de ecosistemas acuáticos permanentes, con la consecuente reducción de hábitats que sirven de sitio de alimentación y nidificación de aves acuáticas, lo que constituye un servicio ecosistémico para el turismo de intereses especiales.

Palabras Claves: cambio climático, Río Loa, radiación ultravioleta, crustáceos, conductividad, zooplancton, Patagonia.

SUMMARY

With the aim of known the effects of global changes in biodiversity and ecosystem services in aquatic environments and ecosystem services in Chile, it was analyzed three cases, in northern Chile the Loa river, northern Patagonia and southern Patagonia. It concludes on the environmental view point that the Loa river was affected by two factors, natural and human mediated with the effects in agriculture and poultry subsistence surface decreasing that is important for native people, as well as hydrobiologic resources. In northern Patagonia it was found low crustacean species richness that was affected by two factors: oligotrophy and exposure to natural ultraviolet radiation. These ecosystems have as ecosystem services that are practically unpolluted condition. Finally in southern Patagonia there are climatic alterations that generate

glacier decreasing and drying of shallow water bodies with the consequent habitat decreasing that are nesting and feeding area for aquatic birds that are important as ecosystem service for special interest tourism.

Key words: climatic change, Loa River, ultraviolet radiation, crustaceans, conductivity, zooplankton, Patagonia.

INTRODUCCIÓN

Los cambios globales afectan la biodiversidad en ambientes acuáticos y los servicios ecosistémicos que éstos brindan. Estos ambientes están sometidos a una magnitud sin precedente de disturbios antrópicos locales y globales, lo cual genera cambios en la estructura y función de los ecosistemas, así como los servicios que éstos prestan a las poblaciones humanas asociadas (Perotti *et al.*, 2005). El presente trabajo tiene como objetivo analizar tres casos de ambientes acuáticos; en la zona norte, el río más largo de Chile, Río Loa, que ha sufrido las consecuencias de los cambios globales por el clima y las alteraciones antrópicas sobre la disponibilidad de alimentos, ya sea como recursos hidrobiológicos o de manera indirecta como superficies para la ganadería y agricultura (De los Ríos *et al.*, en prensa; 2009). Un segundo caso es el norte de la Patagonia caracterizada por la presencia de humedales localizados en zonas costeras, valles intermedios y zonas de montaña, que están regulados por la exposición de la radiación ultravioleta, que afectaría las comunidades planctónicas, lo cual permitiría la presencia de grupos resistentes a la radiación ultravioleta (De los Ríos *et al.*, 2008a). Finalmente, un tercer caso es el sur de la Patagonia, que se ha visto perturbada por los cambios climáticos en las últimas décadas, pudiendo alterar los numerosos cuerpos de agua superficiales de la zona (De los Ríos *et al.*, 2008b).

PRIMER CASO: RIO LOA (22° S REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE)

El río Loa, con sus 440 km de curso, está clasificado como el río más largo de Chile. La hoya hidrográfica tiene los siguientes pueblos o pequeñas entidades de población: Carpa, Lequenas, Tairas, Tapiche, Conchi, Conchi Viejo, Añil, Siloli, Incaliri, Cabana, Ayavire, San Pedro, Toconce, Caspana, Ayquina, Turi, Cupo, Lasana, Cere, Chiu-Chiu, Calama, Chacance, Quillagua. En estos pueblos y asentamientos sus habitantes tienen como medio de subsistencia la actividad agrícola y ganadera (Niemeyer y Cereceda, 1984, Villagrán *et al.*, 2003).

La agricultura, durante milenios fue la base alimenticia de una serie de conglomerados humanos (Santoro *et al.*, 1998). En la cuenca del río se desarrollan diversas actividades agropecuarias dedicadas al cultivo del maíz y tubérculos tales como zanahorias, betarragas, ajos y crianza de ganado bovino y camélidos domésticos como la Llama (*Lama glama*) (Villagrán *et al.*, 2003). Los productos agrícolas provenientes de las diferentes localidades ubicadas en la cuenca tienen su distribución en el mercado regional. Esta actividad se encuentra estrechamente asociada al sistema de vida de las comunidades indígenas. (Villagrán *et al.*, 2003), en que la mayor parte de la producción agrícola la destinan al autoconsumo, situación influida por la alta representación de la alfalfa, que se destina casi en su totalidad a la crianza de animales. Existen diversos embalses en el curso del río Loa, entre los que desataca el embalse Chonchi, el cual regula las aguas destinadas para riego en la zona. Además, se encuentran los tranques Santa Teresa, Santa Fe y el Tranque Sloman (De los Ríos *et al.*, en prensa).

Desde el punto de vista hidrobiológico, el Río Loa, presenta dos especies endémicas, la primera es el camarón de río del norte (*Cryphiops caementarius*) y el pejerrey del norte (*Basilichthys semotilus*), ambas especies presentan amenazas en su conservación, a causa de sobre-explotación y/o reducción de hábitats (De los Ríos *et al.*, en prensa). Por otro lado, hay también poblaciones introducidas de trucha café (*Salmo trutta*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Iriarte *et al.*, 2005), las cuales fueron introducidas a mediados del siglo XX en zonas altas del río, con el fin de satisfacer la pesca deportiva, pero que en la actualidad sirven para complemento alimenticio de poblaciones rurales (Iriarte *et al.*, 2005). El único estudio ecológico para el río Loa, describe una baja riqueza de especies de crustáceos, siendo comunes los ostrácodos y anfípodos (Tabla 1; De los Ríos *et al.*, en prensa).

El carácter urbano de la cuenca está determinado por las ciudades de Calama y Chuquibambilla las que, económicamente, se caracterizan por la explotación cuprífera que constituye la principal actividad económica de la zona. La población urbana se concentra en estas ciudades. A lo largo del extenso cauce del río Loa y sus cercanías, se desarrolla una serie de actividades industriales, principalmente relacionadas con la gran actividad minera metálica y no metálica que se practica en la Región. La mayoría de estas actividades utilizan las aguas del río Loa para faenas de beneficio de minerales que ellas extraen a través de aducciones en distintos puntos del río y sus afluentes, además algunas de estas actividades históricamente han vertido en forma directa los residuos industriales al río y otras lo estarían haciendo en forma indirecta (De los Ríos *et al.*, en prensa, 2009).

En general, la calidad natural del río es clasificada como de regular a mala, donde exceden la clase de excepción los metales como el cobre, cromo, molibdeno, boro, aluminio, los sólidos disueltos y conductividad eléctrica (De los Ríos *et al.*, 2009). La parte media de la cuenca posee actividad minera importante cuyos efectos antrópicos han cambiado la calidad natural, las que sumadas a las lixiviaciones naturales de las franjas metalogénicas han ocasionado presencia de metales como el cobre, hierro, y cromo (De los Ríos *et al.*, 2009). Conforme a la situación actual del Río Loa, se puede concluir que existen dos factores que inciden en la calidad del agua; naturales y antropogénicos, siendo estos últimos los que intervienen en la calidad y cantidad de las aguas, producto de una serie de actividades industriales.

Los principales impactos derivados de la mala calidad de las aguas que se pueden producir sobre cultivos son, la disminución de rendimientos, la pérdida de cosechas, la disminución de la diversidad de especies cultivables y cambios en la calidad e inocuidad de los alimentos producidos, así como disminución de áreas para la ganadería. La principal actividad industrial que amenaza la sustentabilidad de las comunidades del río Loa, es la minería (De los Ríos *et al.*, 2009, en prensa).

SEGUNDO CASO: HUMEDALES DE MONTAÑA NORPATAGÓNICOS (38° S, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA)

El norte de la Patagonia chilena (37-39° S), presenta una serie de humedales, los cuales se encuentran en zonas de montaña, valles intermedios y zonas costeras (De los Ríos *et al.*, 2007), no existiendo estudios sobre zooplancton para estos cuerpos de agua. Los estudios de zooplancton presentan descripciones para lagos, localizados entre los 39 y 51° S, encontrándose una baja riqueza de especies y un alto predominio de los

copéodos calanoideos, siendo uno de los factores reguladores de la estructura zooplanctónica las condiciones tróficas (Marinone *et al.*, 2006).

Tabla 1. Localización geográfica, altitud, conductividad, y especies reportadas para sitios estudiados en el río Loa, norte de Chile (Cf: De los Ríos *et al.*, en prensa).

	Santa Bárbara 21° 58.7'	Conchi 22° 00.5' 68° 36.7'	Salado 20° 20.4' 68° 30.7'	Chichiu 20° 20.4' 68° 39.2'	Chacance 22° 23.8' 69° 31.6'	Salvador 22° 23.8' 69° 31.6'	Iberia 21° 55.2' 69° 33.6'	Sloman 21° 51.2' 69° 30.9'	Quillagua 21° 39.5' 69° 32.2'
Altitud (m a.s.l)	3304	3272	2784	2768	1328	1328	1118	1085	866
Conductividad (mS/cm)	3,7	3,0	7,77	3,8	14,44	8,88	18,45	20,40	20,20
<i>C. dubia</i>		X							
<i>D. pulex</i>		X							
<i>C. sphaericus</i>			X						
<i>E. serrulatus</i>		X							
Unidentified Cyclopoida			X						
<i>H. panningi</i>			X		X		X	X	
<i>Cubacandona</i> spp.							X		
<i>H. fossamanchini</i>	X	X	X			X			
<i>H. kochi</i>	X	X	X						

Otro factor importante como regulador sería la exposición a la radiación ultravioleta, la cual ha presentado un aumento en los últimos ocho años, debido a la disminución del ozono en la atmósfera en zonas polares y subpolares (Marinone *et al.*, 2006). Por ende, la radiación ultravioleta puede penetrar en la columna de agua cuando se presenta muy transparente por oligotrofia y/o baja concentración de carbono orgánico disuelto (Marinone *et al.*, 2006). Esta condición de penetración de la radiación ultravioleta, puede afectar la composición de las comunidades zooplanctónicas, porque solo existirían especies tolerantes en condiciones de alta exposición a dicha radiación (Marinone *et al.*, 2006; De los Ríos *et al.*, 2008a).

En el presente estudio, se consideró información obtenida para humedales (temporales y permanentes) y lagunas poco profundas localizadas en la región de la Araucanía (Parque privado Cañi, 39° S - 71° W; Tabla 2; De los Ríos y Roa, en prensa). Se consideró información sobre concentración de clorofila y radiación ultravioleta para la zona de la ciudad de Temuco donde se tomaron las mediciones de radiación ultravioleta natural (De los Ríos *et al.*, 2007, 2008a; Figura 1).

Tabla 2, Localización geográfica, concentración clorofila “a”, y especies de crustáceos reportados para los sitios estudiados. (De los Ríos y Roa en prensa).

Sitio	Localización geográfica	Chlorophyll a $\mu\text{g/l}$	Especies
Del Risco	39°15' 71°42'	0.7	<i>Boeckella gracilis</i> Daday, 1902. <i>Ceriodaphnia dubia</i> Richard, 1894 <i>Mesocyclops longisetus</i> Thiebaud, 1912.
Negrita	39°15' 71°42'	2.7	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>Daphnia pulex</i> De Geer, 1877. <i>C. dubia</i> <i>Chydorus sphaericus</i> O. F. Müller, 1785
De los Patos	39°15' 71°42'	10.6	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>D. pulex</i> <i>Diaphanosoma chilense</i> Daday, 1902.
Escondida	39°15' 71°42'	12.4	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>D. pulex</i> <i>C. dubia</i> <i>D. chilense</i> <i>Ch. sphaericus</i>
Seca	39°15' 71°43'	12.3	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>D. pulex</i> <i>C. dubia</i> <i>Ch. sphaericus</i>
Negra	39°15' 71°42'	0.7	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>Hyalella araucana</i> Grosso and Peralta, 1999.
Bella	39°15' 71°42'	0.7	<i>B. gracilis</i> <i>D. chilense</i>
Los Pastos	39°15' 71°43'	0.5	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>C. dubia</i> <i>D. chilense</i>
Vaca Hundida	39°15' 71°42'	1.2	<i>B. gracilis</i> <i>D. pulex</i> <i>C. dubia</i> <i>D. chilense</i>

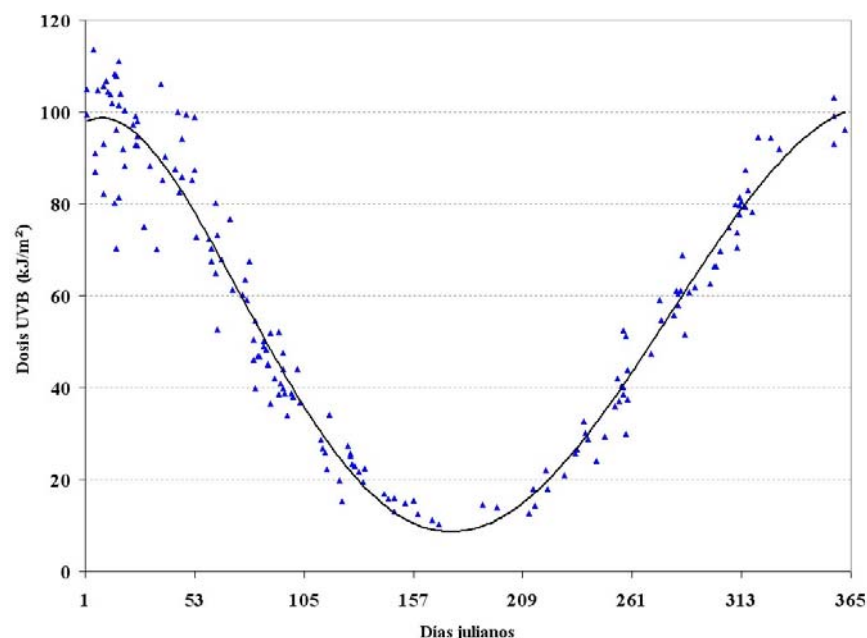
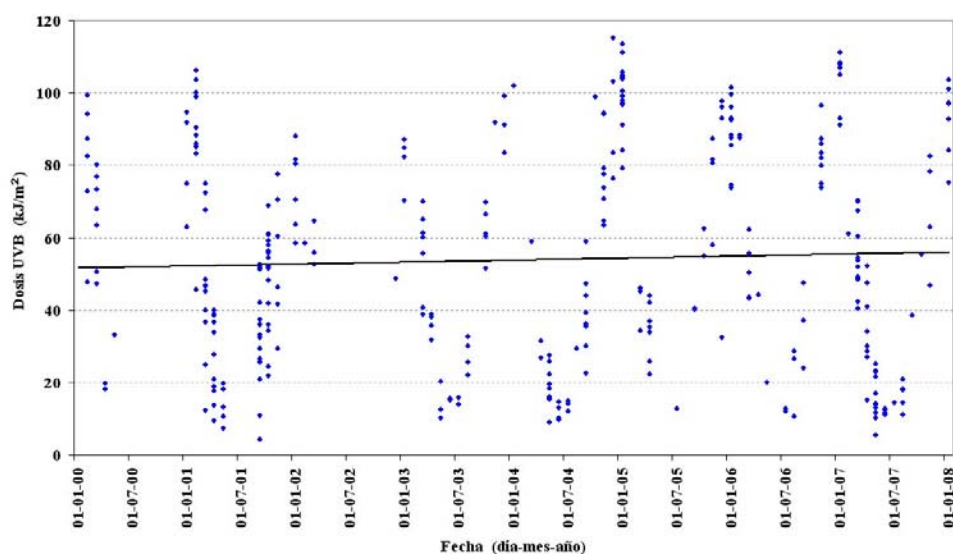


Figura 1. Resultados de dosis de radiación ultravioleta B para Temuco: 1) Variación entre los años 2000 y 2008 (arriba). 2) Variación estacional días despejados entre los años 2000 y 2008 (abajo). (Cf: De los Ríos *et al.*, 2008a).

Los resultados de la radiación ultravioleta indican valores notablemente altos entre los años 2000 y 2008. De igual modo, se aprecia una alta incidencia en los meses de verano y primavera, y baja incidencia en invierno. Si bien los resultados están descritos para Temuco a 100 km de los sitios en estudio, ellos pueden extrapolarse para todos los lugares con similares latitudes dentro la región de la Araucanía (De los Ríos *et al.*, 2007).

El bajo número de especies reportadas en el estudio, se debería a la oligotrofia (De los Ríos y Roa en prensa; De los Ríos *et al.*, 2007). Recientemente se ha propuesto que el incremento de la penetración de la radiación ultravioleta en la Patagonia, sería otro factor regulador importante de la riqueza de especies, ya que en condiciones de alta

exposición a la radiación ultravioleta, habría una baja riqueza de especies, existiendo solo aquellas más tolerantes (Marinone *et al.*, 2006). Las descripciones de De los Ríos *et al.* (2007), son las únicas que describen la ecología de crustáceos litorales en lagos chilenos, este estudio demostró que existiría una relación directa de la riqueza de especies con la protección contra la radiación ultravioleta (brindada por la concentración de carbono orgánico disuelto) y concentración de clorofila.

TERCER CASO: HUMEDALES SUD PATAGÓNICOS (51° S, REGIÓN DE MAGALLANES Y ANTÁRTICA CHILENA).

La zona sur de la Patagonia (51-54° S) está caracterizada por un clima sub-polar y la presencia de muchos ecosistemas lacustres, tales como lagos grandes, profundos y oligotróficos (Soto *et al.*, 1994), junto con lagunas poco profundas ya sean temporales o permanentes, localizadas en zonas glaciares en los 51° S (Soto *et al.*, 1994), y en zonas más australes, hay numerosas lagunas superficiales temporales o permanentes, las cuales presentan una riqueza relativamente alta de especies y un marcado endemismo en la comunidad zooplanctónica (Menu-Marque *et al.*, 2000). Además, estas lagunas presentan una alta variación en sus niveles de conductividad y salinidad lo cual es un regulador importante de la comunidad zooplanctónica (De los Ríos *et al.*, 2008b).

Esta zona ha presentado cambios climáticos en las últimas décadas, los cuales han generado consecuencias a gran escala (De los Ríos *et al.*, 2008b). Estos cambios climáticos podrían afectar los numerosos cuerpos de agua superficiales de la zona, considerando que la exposición a fuertes vientos y un clima semiárido, puede generar una alta evaporación, lo cual explicaría la presencia de lagos con altos niveles de salinidad y conductividad (Soto *et al.*, 1994; De los Ríos *et al.*, 2008b). Los primeros datos de análisis climático indicaron un aumento de la humedad relativa y la evaporación entre los años 1990 y 2006 (De los Ríos *et al.*, 2008b), no encontrándose grandes variaciones en la temperatura, y existiendo alternados años con altas y bajas precipitaciones (De los Ríos *et al.* 2008b)

Por otra parte, las imágenes satelitales, indican la presencia de numerosas lagunas superficiales (Figura 2), de éstas se destaca, la situación de la laguna Cisnes, que originalmente fue descrita como laguna permanente, (Soto *et al.*, 1994), pero según la imagen satelital del año 2007, esta laguna, así como otras, pasaron por proceso de desecación, lo cual se demuestra por el color gris, a diferencia del color negro de las lagunas permanentes (Figura 2).

En las tres imágenes de arriba correspondientes a los años 1986, 2001 y 2006, no se observan cambios en 1986 y 2001. En la fila inferior se tiene el detalle de lagunas que han presentado cambios entre los años 2001 y 2006. Estas imágenes satelitales corresponden a las bandas del infrarrojo cercano, en donde los cuerpos de agua aparecen en tono muy oscuro debido a su prácticamente nula reflectancia. En zonas con aumento de claridad, se debe a una relación directa con la reflectancia en algunas de las lagunas, lo que corresponde a un suelo desnudo húmedo, es decir, donde antes había agua ahora solo se presenta lodo (Cf: De los Ríos *et al.*, 2008b).