



Universidad Nacional de San Juan

Autoridades:

Rector U.N.S.J.: Dr. Benjamín Kuchen
Decano F.F.H y A.: Lic. Paolo V. Landini
Director I.G.A.: Prof. María Inés López
Direc. Depto. de Geografía: Prof. Sandra Sanchez
Secretaria de Extensión Univer.: Mgter. Itatí Peinado



Mitre 317 oeste - 5400 San Juan - República Argentina

Tel: (0264) 4222074 - INT. 139 e-mail: iga@ffha.unsj.edu.ar

Dr. A. German Poblete tel.: 0264 154453242

Publicación anual del Instituto de Geografía Aplicada y Departamento de Geografía de la UNSJ

Director: Dr. Arnobio Germán Poblete

COMITE EDITORIAL

REFEREES

Dr. Horacio Capel Saez
(Universidad de Barcelona - España)
Dr. Jorge A. Pickenhayn
(Universidad Nacional de San Juan)
Dr. Jean Noë, Bernard Salomón
(Universidad de Bordeaux - Francia)
Dr. Walter Vargas
(Universidad de Buenos Aires)
Dr. Juan L. Minetti
(Universidad Nacional de Tucumán)

Dr. Alfredo S. Bolsi (U.N.T)
Dr. Raúl Borges Guimaraes (U.N.E.S.P.E)
Dr. Gustavo D. Buzai (U.B.A)
Dr. Enrique Bruniard (U.B.A)
Prof. Martha E. Caillou (U.N.T)
Mgter. Ana Beatriz Ellier
Dra. Elena Chiozza (U.N.L)
Prof. Susana Curto (U.B.A)
Prof. Irene A. García (U.N.T)
Dr. Juan L. Minetti (U.N.T)
Dr. José E. Novoa Jerez (U. de la Serena - Chile)

OBJETIVOS

La Revista de Geografía del Instituto de Geografía Aplicada y Departamento de Geografía de la Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes, nace por la necesidad de los geógrafos sanjuaninos de poseer un ámbito propio y seguro que permita la publicación de los resultados de sus investigaciones provenientes de su accionar en proyectos de investigación institucionalizados y/o de sus cátedras. Sin embargo su rol no queda circunscripto a ese objetivo, sino que tiene el propósito de

ampliar espacial y conceptualmente el perfil de los potenciales autores, dando cabida a todo aquel investigador de la U.N.S.J. o fuera de ella, que realice trabajos inéditos con una impronta geográfica significativa. Como esta publicación pretende ser de primer nivel, estructura un sistema basado en el referato extremo para asegurar la excelencia académica y garantizar la objetividad en la evaluación de los papers enviados para su publicación.

Staff

Revista de
Geografía



Director
Dr. Arnobio
Germán Poblete

Secretaria
Prof. Silvia
Villalobos

Revisión
Lic. Silvia A. Escudero

Promoción
publicitaria
Prof. Cristina
Hornilla

Producción gráfica
Veronica Soledad
Gonzalez

Reg. Prop. Intelec-
tual (en trámite) Ley
11723

ISSN: 1514-1942

Calificada como
Nivel 1 por el
CAICYT

Integrante del Núcleo
Basico de Revistas
Científicas Argentinas

EDITORIAL.

En pleno tercer milenio, nuestra ciencia geográfica se encuentra experimentando una de sus más relevantes etapas de crecimiento. En consonancia con ello el rigor científico con que debe actuar la misma en la actualidad, tiene que nacer de la explicitación de sus principios renovados, mediante trabajos y procedimientos metodológicos que tengan una probada objetividad y aplicabilidad en la investigación.

Esta rejuvenecida Geografía, con métodos propios enriquecidos con los avances tecnológicos y científicos que marcan al mundo actual, debe ser capaz de medir, clasificar y analizar al espacio geográfico y sus interrelaciones para contribuir objetivamente en la resolución de los problemas inherentes al desarrollo sustentable y respeto del medio ambiente.

Con ese sustancial cambio de rumbo, definitivamente queda atrás su imagen de asignatura escolar meramente descriptiva y recopiladora de nombres, para pasar a consolidarse como una ciencia tanto teórica como aplicada.

Esta revista pretende ser la receptora y difusora de ese crecimiento, pues representa al derrotero y perfil de ciencia anhelado para nuestra GEOGRAFIA, puesto que el punto de inflexión que la transforma no tiene retorno.

En este número hay artículos que corroboran ese cambio.

<http://www.ffha.unsj.edu.ar/Climatologia/revista>

EFECTO DE LA PRECIPITACION EN EL AREA Y NÚMERO DE LAGUNAS PAMPEANAS (CUENCA ATLÁNTICA, ARGENTINA)

Vanesa Yael Bohn

Área Hidrología y Limnología Departamento de Geografía y Turismo Universidad Nacional del Sur -
E mail: vbohn@criba.edu.ar

Fecha de Entrega: 13-07-2011 / Fecha de Aprobación: 07 - 07 - 2011

RESUMEN

La cuenca atlántica se localiza al sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina) y se caracteriza por el predominio de un clima templado y relieve de llanura. El objetivo de este trabajo es vincular el régimen pluviométrico, la geomorfología y la hidrografía con la variación en el número de lagunas y de sus extensiones areales en el área de estudio. La variabilidad de la precipitación fue estudiada a partir de registros de 30 años y en relación al valor normal. El área y número de lagunas fueron calculados durante el período 2004-2009. La metodología incluyó un estudio multitemporal basado en el procesamiento de productos satelitales MODIS-NDVI (Índice Normalizado de Vegetación) e integración de datos espaciales en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Como resultado, se cuantificó el área cubierta por agua en relación a la precipitación anual. Desde un punto de vista pluviométrico, el año 2007 fue considerado normal mientras que 2004 fue considerado húmedo para la región de estudio. Por el contrario, los años 2005, 2006, 2008 y 2009 fueron caracterizados como secos. Las coberturas de agua máxima y mínima fueron detectadas en los años 2004 y 2009, alcanzando los 99,8 km² y 54,3 km², respectivamente.

Palabras clave: lagunas someras, imágenes satelitales, régimen de precipitación.

ABSTRACT

The Atlantic basin is located in the South of Buenos Aires province (Argentina) and it is characterized by a temperate climate and a plain topography. The aim of this work is to relate the rainfall regime, the geomorphology and the hydrography to the number of water bodies and their areal variations in the study area. The rainfall variability was studied based on 30 years of registers and their normal values. The number of water bodies and their area were calculated during the 2004-2009 period. A multitemporal study, based on MODIS-NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) satellite image processing and spatial data integration in a Geographic Information System (GIS), was included in the methodology. As a result, the area covered by water related with the annual precipitation was quantified. Regarding to the rainfall regime, the 2007 year was considered a normal year, whereas 2004 was considered a wet year in the study area. On the contrary, the 2005, 2006, 2008 and 2009 years were characterized as dry years. The maximum and minimum water coverage was detected during 2004 and 2009 years, reaching the 99.8 km² and 54.3 km², respectively.

Keywords: shallow lakes, satellite image, rainfall regime

INTRODUCCION

Los niveles de agua en cuerpos lacustres pueden variar en diversas escalas de tiempo (corto a largo plazo), en relación con fluctuaciones climáticas, procesos meteorológicos e hidrológicos (Hofmann et al. 2008). Los procesos de inundación, erosión y desecación influyen en las variaciones morfométricas de los lagos (Scheffer 1998; Jöhnk et al. 2004; Quin y Sellinger 2006). Dicho fenómeno es más frecuente en reservorios y lagos localizados en regiones templadas con régimen irregular y eventos estacionales de precipitación (Geraldés y Boavida 2005). Durante las últimas décadas en todo el mundo factores antropogénicos así como también las variaciones naturales en los caudales de los cursos de agua y acuíferos estimularon la aceleración en los procesos de desecación de algunos lagos y de extrema inundación en otros (Wagner et al. 2002; Jiang et al. 2005).

Generalmente, los lagos y lagunas alcanzan su máximo nivel durante el período en el que ocurre un incremento de la precipitación. Por este motivo, se han observado patrones similares entre las variaciones en la morfometría de

lagos y los correspondientes al régimen de precipitación (Quirós et al. 2002; Jöhnk et al. 2004; Fornerón et al. 2008). Las fluctuaciones en los niveles de agua así como también las variaciones en los parámetros morfométricos de los lagos afectan a los procesos ecológicos de los mismos. El dramático efecto del cambio climático manifestado a través de eventos de inundaciones o sequías muestra la necesidad de implementar estudios para el desarrollo de esquemas de manejo ambiental y social para futuras generaciones (Birkett 2000; Wantsen et al. 2008).

Las variaciones en la morfometría de las lagunas pampeanas están relacionadas a los ciclos de sequía – inundación típicos del clima pampeano (Quirós et al. 2002). Esta variabilidad se manifiesta principalmente en sus variaciones areales y fue detectada en diferentes regiones mediante el uso de técnicas de teledetección (Luque y Paoloni 1995; Maizels et al. 2003; Dukatz et al. 2005; Renella y Quirós 2006; Torremorel et al. 2007; Canziani et al. 2008; Pérez et al. 2010). El objetivo de este trabajo fue cuantificar la variación anual e interanual del número y área de las lagunas de la cuenca atlántica (provincia de Buenos Aires, Argentina) (Figura 1) durante un

período de 6 años en relación a la geomorfología, hidrografía y pluviometría de la región.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la cuenca hidrográfica atlántica (SRHN 2002) y está situada al sur de la provincia de Buenos Aires, entre las coordenadas 62° 42' y 57° 33' O y entre los 37° 26' S y su límite con la línea de costa (Figura 1). Ocupa un área total de 50211 km² y fisiográficamente corresponde al sector meridional de la pampa subhúmeda, con la presencia del Sistema Serrano de Ventania (Figura 1) (1240 msnm) (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras 1994). El área incluye sierras y zonas de pendiente, mesetas, llanuras litorales y continentales (Figura 1) (INTA 1989):

Sierras y zonas de pendiente. Incluye las subunidades geomórficas de pedemonte ondulado y zonas escarpadas con presencia de loess. Constituye la transición entre el relieve serrano y la llanura circundante y comprende el sector noroccidental del área de estudio. La altitud máxima alcanza 1240 msnm. El gradiente máximo es de 55° (González Uriarte 2002).

Mesetas. También llamada llanura surventánica (González Uriarte y Navarro 2005), forma parte de la llanura pampeana y del geoambiente llanura ventánica meridional (González Uriarte 2002). La unidad asocia gradientes menores al 0,5%, típicos de la llanura y de 0,5% y 1% característicos de la pendiente frontal. El rango altitudinal es amplio, abarcando el nivel de la llanura periventánica y de la faja de influencia litoral. En el sector O se desarrolla un escaso número de lagunas debido a la combinación de un óptimo drenaje natural, la menor precipitación media del área de estudio y el desarrollo de costra calcárea superficial. En el sector Sur de dicha unidad geomórfica es posible distinguir una subunidad de planicie alta (50 msnm) y una baja (20 msnm), donde se da la transición al litoral arenoso.

Llanuras litorales (ambiente litoral marino). La

faja comprende la playa intermareal y el respaldo de médanos. Este último se construye por la progresión de arenas marinas (Isla et al. 2001). Incluye los geoambientes de costa arenosa y de fangal (González Uriarte 2002).

Llanuras continentales. Esta unidad presenta dos límites topográficos: al Oeste, el sistema serrano de Ventania (máxima altura 1240 msnm) y hacia el Este, el Sistema de Tandilia (máxima altura 500 msnm) (Figura 1). La pendiente regional es menor a 6°. Geológicamente, la planicie intermontana es una unidad negativa. Un comportamiento subsidente es evidente en el sector Este del área de estudio, con extrema horizontalidad del terreno, lo cual supone un impedimento de las condiciones de drenaje natural y un desmejoramiento de la calidad agrícola de los suelos (González Uriarte y Navarro 2005). Por esta razón, las lagunas del Este presentan diversas formas y orientación heterogénea de su longitud máxima total (N-S, N-O, NE-SO) (Bohn 2009).

El área de estudio presenta clima templado y a diferencia de otras regiones situadas en latitudes similares en el hemisferio Norte, presenta condiciones más favorables por el efecto moderador que ejerce el océano. La temperatura media anual oscila entre 14 y 20 °C y muestra estaciones térmicas bien diferenciadas (veranos e inviernos rigurosos y primaveras y otoños intermedios). En relación a las precipitaciones, se evidencian dos máximos en primavera y otoño, específicamente en los meses de octubre y mayo, en casi la totalidad de las localidades del sur de la provincia (Campo et al. 2004). Las precipitaciones anuales descienden en dirección NE-SO entre los 900 y 600 mm anuales. De acuerdo a la clasificación climática de Burgos y Vidal (1951), el área de estudio corresponde a la región hídrica subhúmeda seca. La dirección de los vientos predominantes es del Norte, Noreste y Noroeste.

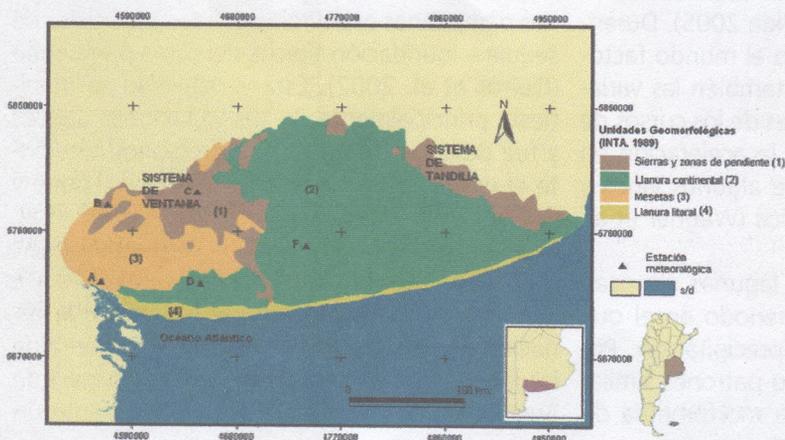


Figura 1. Localización relativa de la cuenca Atlántica y sus unidades geomorfológicas en el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Se indican las estaciones meteorológicas: Bahía Blanca (A), Tornquist (B), Coronel Pringles (C), Coronel Dorrego (D) y Tres Arroyos (F).

METODOLOGÍA

Se analizaron los registros pluviométricos correspondientes a las estaciones de Bahía Blanca, Tornquist, Coronel Pringles, Coronel Dorrego y Tres Arroyos (Figura 1) y al período 1970-2009 (INTA, SMN). Los años correspondientes al período 2004-2009 fueron evaluados en relación a la normal para la determinación de años secos, normales y húmedos. La evapotranspiración fue calculada mediante el procedimiento de Thornthwaite y Mather (1957).

Se analizaron y procesaron 36 imágenes satelitales (6/año) durante el período 2004-2009, correspondientes al producto Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) del satélite Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). El área de estudio corresponde a la escena (tile) h13v12. Si bien la resolución espacial de este producto no es óptima (250 m), las imágenes fueron elegidas por la amplia superficie de cobertura de cada escena (10° x 10°) y su alta resolución temporal (15 días). Este último aspecto resulta apropiado para el estudio de sistemas que poseen gran dinamismo temporal, como es el caso de las lagunas pampeanas. Las imágenes fueron reproyectadas mediante la herramienta Modis Reprojection Tool (MRT) al sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator, WGS84 para su utilización en el estudio multitemporal y la incorporación de los datos a un Sistema de Información Geográfica (SIG). El área correspondiente a cada uno de los cuerpos de agua fue obtenida de las imágenes satelitales mediante el método de clasificación Supervisada (Método del paralelepípedo) del software Envi 4.7. La variación areal de las lagunas fue evaluada en relación a la geomorfología, hidrografía y pluviometría de la región. La primera de ellas fue analizada de acuerdo a la delimitación de unidades geomorfológicas (Escala 1: 50000) realizada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA 1989). Como se mencionó previamente, las unidades incluidas en el área de estudio fueron: mesetas, llanuras continental y litoral y sierras y zonas de pendiente (Figura 1).

Para el análisis de la hidrografía, se delimitaron las subcuencas hidrográficas y se calculó la densidad de drenaje (Dd). Las subcuencas del

$$Dd = \frac{L}{A}$$

área fueron delimitadas con el software BASINS y un Modelo de Elevación Digital (MED) (USGS) (<http://gisdata.usgs.net>). Este parámetro, definido como medida correcta de la textura topográfica en paisajes fluviales erodados (Abrahams y Ponczynski 1985) fue calculado en base a la longitud (km) de los ríos permanentes y no

permanentes de las cuencas de la región mediante donde L es la longitud total de los cursos de agua (km) y A es el área total de la cuenca (km²). La longitud de los ríos y los datos cartográficos fueron obtenidos de cartas topográficas (Instituto Geográfico Militar, IGM), escala 1:50.000 y del Atlas de Recursos Hídricos de la Nación (SRHN 2002).

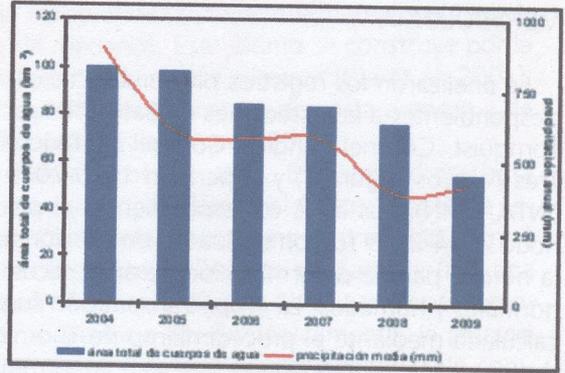
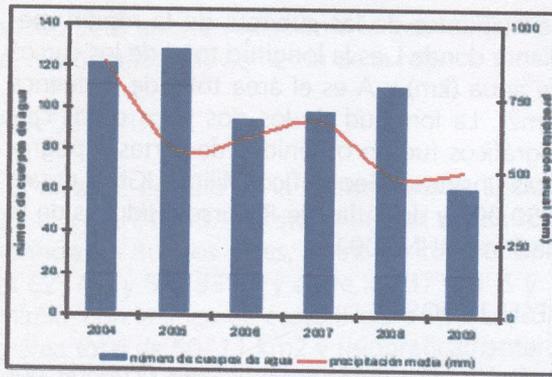
RESULTADOS

1. Número de lagunas y área ocupada por agua durante el período 2004-2009

a) Variación interanual. Como resultado del análisis de la precipitación anual, el año 2004 fue caracterizado como húmedo y 2007 como año normal. Los restantes del período fueron considerados años secos. La mayor área cubierta por agua fue detectada durante el año 2004 alcanzando los 99,8 km² (~ 0,20 % del área de estudio), mientras que los mínimos valores fueron hallados durante el año 2009 con 54,3 km² (~ 0,11 % del área de estudio). Estos resultados ilustraron efectos climáticos. El año 2004 fue el único caso dentro del período analizado en el que la precipitación anual media del área de estudio superó a la normal (~ +100 mm) mientras que el año 2009 mostró características de sequía, siendo la precipitación anual inferior a la normal (~ -250 mm). Durante el año 2004 el número de lagunas fue de 121 mientras que durante el año 2009 se detectaron 61 cuerpos de agua. Durante el período en el que las precipitaciones se asimilaron al valor normal de precipitación (año 2007) el área cubierta por agua fue de 82,9 km² (0,16 % del área total) y el número de lagunas fue de 98.

Durante el año 2004 (año húmedo), el número de cuerpos de agua fue inferior en comparación con el año 2005 (precipitación anual < normal) a pesar de que el área total fue mayor en el año 2004 (Figura 2). Este fenómeno ocurrió debido a la interconexión entre pequeñas lagunas que, ante el aumento de sus volúmenes de agua y la escasa pendiente topográfica, contribuyeron a la formación de lagunas de mayores dimensiones. Durante el año 2006 (precipitación anual < normal), el área total de lagunas decreció en un 15 % en comparación con el año 2004 al igual que el número de cuerpos de agua.

En términos generales (para toda el área de estudio), la extensión (km²) de las lagunas fue mayor durante los años más lluviosos o normales mostrando un decrecimiento durante los períodos más secos (Figura 2). Por el contrario, si el análisis se realiza según unidades geomorfológicas la influencia de la precipitación sobre el número y área de las lagunas fue heterogénea.



▲ Figura 2. Área total (km² año⁻¹) y número de cuerpos de agua para cada año en el área de estudio en relación a la precipitación media de la región.

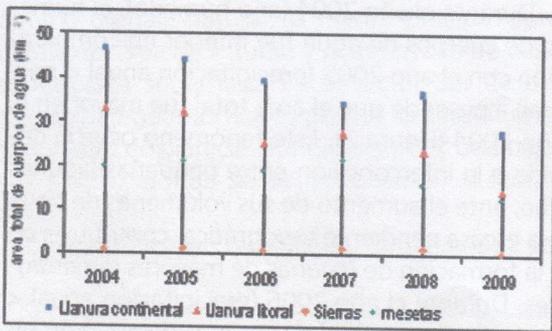
La precipitación media correspondiente al área de estudio durante el año 2004 superó a la normal, lo cual se reflejó en el mayor desarrollo lagunar del período analizado en las unidades geomorfológicas de llanura continental (46,4 km² ocupados por agua) y en la llanura litoral, con 32,9 km² ocupados por agua (Tabla 1) (Figura 3). En las zonas correspondientes a mesetas y sierras y zonas de pendiente, las áreas máximas se obtuvieron en un año cuya precipitación se aproximó a la normal (2007) con 19,6

y 1,2 km², respectivamente (Figura 4).

Las precipitaciones anuales mínimas registradas para el período de estudio ocurrieron durante los años 2008 y 2009. Durante este último, las lagunas presentaron las menores dimensiones. Se registraron 44,5 km² ocupados por agua en la llanura continental, 11 km² en la zona de llanura litoral, 12,1 km² en mesetas y un valor inferior a 1 km² para la unidad de sierra y zonas de pendiente (Tabla 1).

	Área total de cuerpos de agua					
	2004		2007		2009	
	km ²	% de la unidad geomorfológica	km ²	% de la unidad geomorfológica	km ²	% de la unidad geomorfológica
Llanura continental	46,40	0,15			44,50	0,15
Llanura litoral	32,90	1,40			11	0,47
Mesetas			19,60	0,23	12,15	0,14
Sierras			1,25	< 0,10	0,23	< 0,10

◀ Tabla 1. Área total de cuerpos de agua (valores mínimos y máximos) según unidades geomorfológicas



▲ Figura 3. Variación interanual del área total de cuerpos de agua, según unidad geomorfológica

En cuanto a la variación interanual del número de lagunas, los mínimos valores fueron hallados en el año 2009 para la totalidad del área. Por el contrario, los valores máximos fueron hallados en 2005 (año seco) para el sector de llanuras continentales, en 2008 (año seco) para las llanuras litorales y en 2007 (año normal) para el sector de mesetas y sierras y zonas de pendiente (Figura 4). Como consecuencia de su densidad

de drenaje moderada y la escasa pendiente topográfica (< 4°), el sector de llanuras continentales, se caracteriza por la presencia de un gran número de lagunas en rosario, extremadamente someras y temporarias (Marini y Piccolo 2000; Bohn 2009). Ello explica que, durante el año 2008 (seco), el número de lagunas aumente con respecto a un año normal (2007) (Figura 4). El mayor porcentaje de lagunas que se desarrollan en las llanuras

continentales experimentan la subdivisión de sus extensiones durante los inicios de un período seco (2005, 2008) y su posterior desaparición en períodos de intensa sequía (2009).

b) Variación anual. Se analizó la variación anual del número y extensión de las lagunas en 3 años, en forma comparativa. El patrón de variación del número de lagunas fue similar durante el año normal entre todas las unidades geomorfológicas.

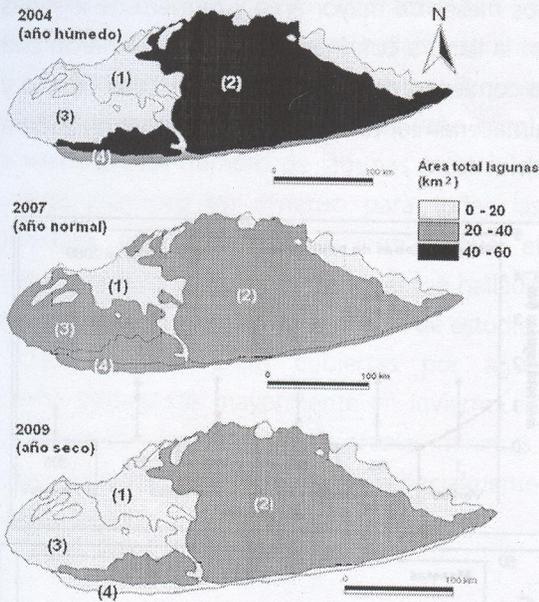


Figura 6. Evolución anual del número de lagunas en periodos húmedos (2004), normales (2007) y secos (2009), según unidad geomorfológica

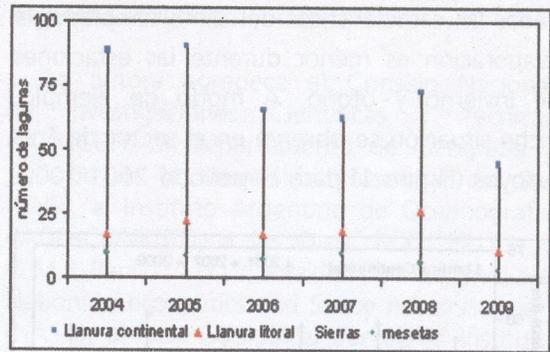
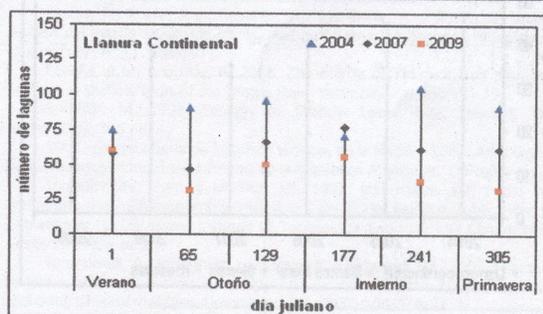
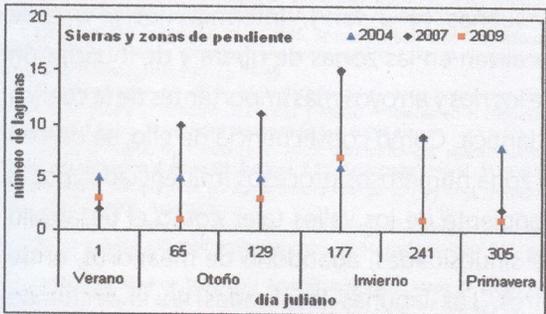
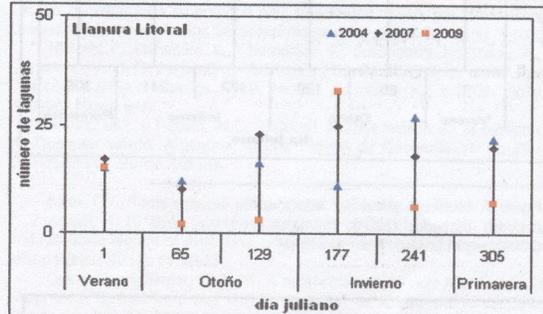
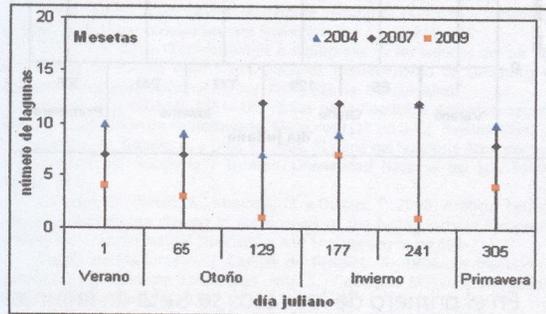


Figura 5. Variación interanual del número de lagunas, según unidad geomorfológica.

Figura 4. Área total lagunar (km²) en diferentes situaciones de pluviometría, según unidades geomorfológicas: (1) Sierras y zonas de pendiente; (2) Llanuras continentales; (3) Mesetas y (4) Llanuras litorales.



Sólo en el caso de las llanuras continentales dicho patrón se asemejó al correspondiente al año seco. El máximo número de lagunas se observó durante el invierno en toda el área de estudio, sin diferencia entre años húmedos (2004), normales (2007) y/o secos (2009) (Figura 6). Durante el año húmedo, la menor cantidad de cuerpos de agua fue detectada en otoño en las zonas de meseta, llanura litoral, sierras y zonas de pendiente y en verano en la llanura continental. En el año seco, el número de lagunas fue homogéneo entre unidades

geomorfológicas mostrando los valores mínimos en otoño-invierno (Figura 6).

Las máximas áreas cubiertas por agua fueron detectadas mayormente en invierno durante el año normal así como también durante los años secos y húmedos. Sólo en el caso de la unidad geomorfológica de mesetas (Figura 7) dichos máximos se dieron también en otoño. Este fenómeno ocurre como consecuencia de las características del clima del área de estudio. Las precipitaciones máximas ocurren en primavera y otoño (Campo et al. 2004) y,

dadas las características del clima templado, la evaporación es menor durante las estaciones de invierno y otoño. A modo de ejemplo, dicha situación se observó en el sector de Tres Arroyos (Figura 1) para el período 2001-2009.

Los meses de mayor área y número de lagunas en la llanura continental se correlacionaron con el comienzo de un período de exceso hídrico y almacenamiento de 4 meses de duración (Figura 8).

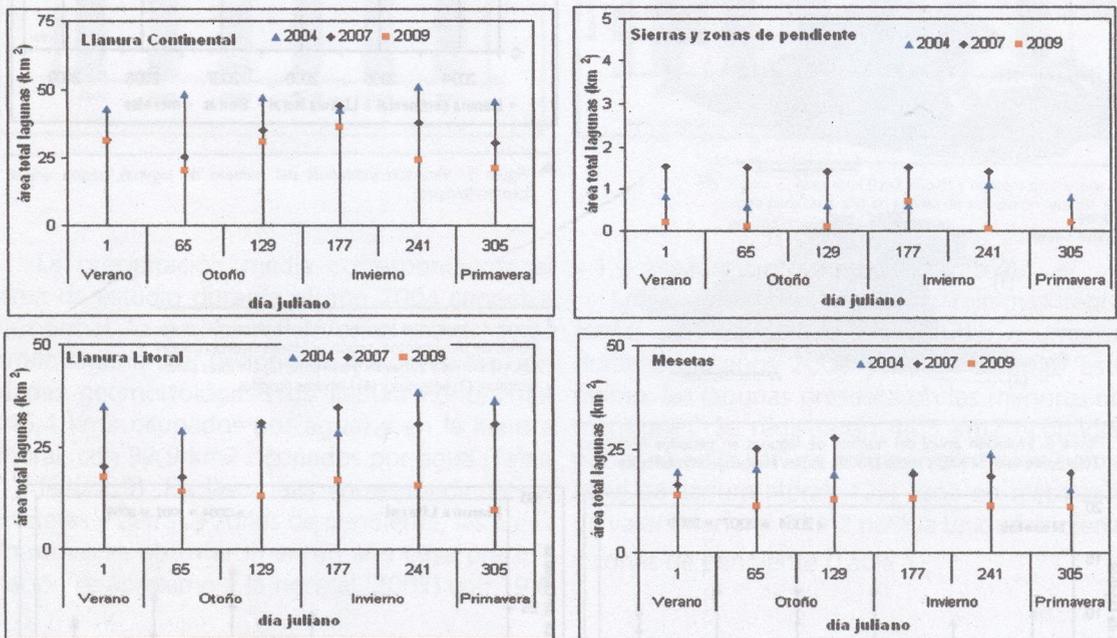


Figura 7. Evolución anual del área total de lagunas en periodos húmedos (2004), normales (2007) y secos (2009), según unidad geomorfológica.

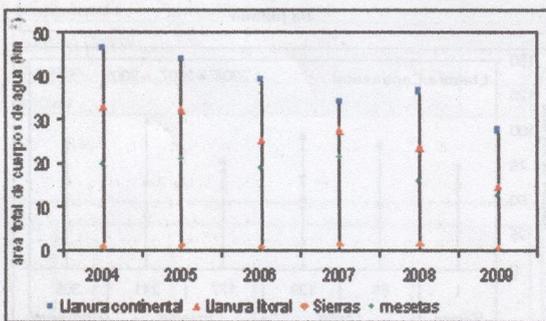


Figura 8. Relación precipitación (P) - evapotranspiración real (ETR) en Tres Arroyos (Llanura continental) durante el período 2001-2009

CONCLUSIONES

Sobre la base de los valores máximos (2004) y mínimos (2009) (análisis interanual) para cada unidad geomorfológica, se determinó que las unidades de sierras y pendientes y llanura litoral fueron las más variables en relación al total de área cubierta por agua, con una diferencia mayor al 50% entre ambos extremos. En cuanto al número de cuerpos de agua, las zonas de mesetas y sierras y pendientes mostraron la mayor variación, del 70%.

En el primero de los casos se trata de lagunas pequeñas ($< 3 \text{ km}^2$), intermitentes y que se localizan en las zonas de ribera y de inundación de los ríos y arroyos más importantes de la cuenca atlántica. Como consecuencia de ello, se dan en la zona numerosos procesos influenciados por la pendiente de los valles tales como el desarrollo de sinuosidades, abandono de meandros, entre otros. Las lagunas localizadas en el sector de llanuras litorales, en su mayoría permanentes, constituyen el cierre de numerosas subcuencas y cuencas endorreicas, lo cual explica la variabilidad de sus volúmenes de agua a lo largo del año. Dichas lagunas poseen una morfometría alargada, debido a la presencia de las cadenas de médanos del sur de la provincia de Buenos Aires (Islas et al. 2001).

El patrón de variación anual del número de lagunas fue similar durante el año normal entre todas las unidades geomorfológicas con máximos durante el otoño-invierno. Durante el año húmedo, el máximo número de lagunas se observó durante el invierno, en todas las

unidades geomorfológicas mientras que el menor número de lagunas fue hallado durante el otoño (principalmente en mesetas, llanuras litorales y sierras). En el año 2009 (año seco), la variación del número de lagunas mostró los valores máximos en invierno para todas las unidades geomorfológicas mientras que el menor número de cuerpos de agua fue hallado en otoño y primavera en toda el área de estudio.

Las máximas áreas cubiertas por agua fueron detectadas mayormente en invierno en contraste con las extensiones areales mínimas, cuya distribución fue temporal y espacialmente heterogénea.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), al Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur (UNS), al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET), a los Dres. M.C. Piccolo y G.M.E. Perillo. A la Universidad de Maryland, a la National Aeronautics and Space Administration (NASA), al U.S. Geological Survey, al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina.

BIBLIOGRAFIA

- Abrahams, A.D. y Ponczynski, J.J. 1985. Drainage Density in relation to precipitation intensity in the USA. *Journal of Hydrology* 75: pp 383-388.
- Birkett, C. M. 2000. Synergistic Remote Sensing of Lake Chad: Variability of Basin Inundation. *Remote Sensing Environmental* 72: pp 218-236
- Bohn, V.Y. 2009. Geomorfología e hidrografía de las lagunas del sur de la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Buenos Aires.
- Burgos, J. y Vidal, A. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros* 1 (1): pp 3-32. Buenos Aires.
- Campo, A., Capelli, A. y Diez, P. 2004. El clima del Sudoeste Bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 99 pp.
- Canziani, G., Ferrati, R., Marinelli, C. y Dukatz, F. 2008. Artificial neural networks and remote sensing in the analysis of the highly variable Pampean shallow lakes. *Mathematical Biosciences and Engineering* 5: pp 691-711.
- Capelli de Steffens, A. y Campo de Ferreras, A. 1994. La transición climática en el Sudoeste Bonaerense. Nro. 5. Colección SIGEO. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- Dukatz, F., Ferrati, R. y Canziani, G. 2005. Clasificación de lagos someros pampeanos mediante imágenes Landsat TM. *Biología Acuática* 22: pp 95-101.
- Geraldes, A.M. y Boavida, M.J.L. 2005. Seasonal water level fluctuations: implications for reservoir limnology and management. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 10: pp 59-69.
- González Uriarte, M. 2002. Geoambientes del Suroeste bonaerense. En: Vaquero, M. (Comp.). *Territorio, Economía y Medio Ambiente en el Sudoeste Bonaerense*. Edi Uns, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- González Uriarte, M. y Navarro, E. 2005. Geomorfología, relación suelo-paisaje y composición pedregal. En: Paoloni, J. D. y González Uriarte, M. (Eds.). *Geoambiente y evaluación de las aguas freáticas del partido de Cnel. Dorrego*. EdiUns. Bahía Blanca. Argentina.
- Hofmann, H., Lorke, A. y Peeters, F. 2008. Temporal scales of water level fluctuations in lakes and their ecological implications. *Hydrobiologia* 613: pp 85-96
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Instituto de suelos. INTA. Buenos Aires. 525 pp.
- Isla, F. I., Cortizo, L.C. y Turno Orellano, H. A. 2001. Dinámica y evolución de las barreras medanosas, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología* 2: pp 73-83
- Jiang, L., Yua, X., Zhaoa, H. y Zhoua, Y. 2005. China's Wetlands Restoration around Poyang Lake, Middle Yangtze: Evidences from Landsat TM/ETM Images. *IEEE*
- Jöhnk, K.D., Straile, D. y Ostendorp, W. 2004. Water level variability and trends in Lake Constance in the light of the 1999 centennial flood. *Limnologia*. Ecology and Management of Inland Waters 34 (1-2): pp 15-21
- Luque, J. A. y Paoloni, J.D. 1995. La alternancia de las inundaciones y sequías bonaerenses y su enfoque para una solución sostenida. Bahía Blanca. Universidad Nacional del Sur. Serie: Hidrología y riego. Nro. 26
- Maizels, P., Etchepare, E., Chornomaz, E., Bustingorry, J., Escaray, R., & Conzonno, V. 2003. Parámetros abióticos y biomasa planctónica en la Laguna Chascomús (Pcia de Buenos Aires). Período de inundación n 2002. *Biología Acuática* 20: pp 6-11.
- Marini, M.F. y Piccolo, M.C. 2000. El balance hídrico en la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. *Revista Papeles de Geografía* 31: pp 39-53. Universidad de Murcia. España.
- Pérez, G.L., Torremorell, A., Bustingorry, J., Escaray, R., Pérez, P., Diéguez, P., Zagarese, H. 2010. Optical characteristics of shallow lakes from the Pampa and Patagonia regions of Argentina. *Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters* 40 (1): pp 30-39.
- Quinn, F. y Sellinger, C. 2006. A reconstruction of Lake Michigan-Huron water levels derived from tree ring chronologies for the period 1600-1961. *J. Great Lakes Res.* 32, 29-39. *Internat. Assoc. Great Lakes Res.*
- Quirós, R., Rosso, J. J., Rennella, A., Sosnovsky, A. y Boveri, M. 2002. Análisis del estado trófico de las lagunas pampeanas (Argentina). *Interciencia*. Volumen 27, N° 11. 584-591.
- Renella, A.M. y Quirós, R. 2006. The effects of hydrology on plankton biomass in shallow lakes of the Pampa Plain. *Hydrobiologia* 556:181-191.
- Scheffer, M. 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Riza. Lelystad. The Netherlands. 346 pp.
- SSRH - Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2002. Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina. CD-rom.
- Thornthwaite, C.W. y Mather, J.R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the Water Balance. *Publications in Climatology* 10, (3). Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology. Centerton, New Jersey.
- Torremorell, A., Bustingorry, J., Escaray, R. y Zagarese, H.E. 2007. Seasonal dynamics of a large, shallow lake, laguna Chascomús: The role of light limitation and other physical variables. *Limnologia* 37 (2007) 100-108
- Wagner, G., Schröder, H. y Gurtz, J. 2002. A model approach for in- and outflow calculation of upper lake constance: An investigation of a 60 year time span and observations about the flood of 1999. *Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters*. Vol. 32:1. pp 27-32
- Wantzen K. M., Junk W. J. y Rothhaupt, K. 2008. An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. *Hydrobiologia* 613 (1) pp. 151-170.

LOS RÍOS DEL NOA Y EL ENSO

Marilyn del Valle Leiva

Dpto. de Geografía-UNT - Laboratorio Climatológico Sudamericano.

Juan L. Minetti

CONICET - Dpto. de Geografía-UNT - Laboratorio Climatológico Sudamericano.

Fecha de Entrega: 01-09-2011 / Fecha de Aprobación: 12-07-2011

RESUMEN

En este trabajo se estudian las posibles relaciones entre el fenómeno ENSO (El Niño-Southern Oscillation) y el comportamiento del caudal mensual de los ríos en la región del Noroeste Argentino. El análisis trata de mostrar si el ENSO determina parte de la variabilidad de las anomalías en el caudal de los ríos del NOA. El estudio se realizó de forma mensual en estaciones de aforo seleccionadas, en donde se analizaron los promedios y las anomalías del caudal de los ríos en años cálidos y fríos en el Océano Pacífico Ecuatorial. Los resultados muestran que los ríos de la cuenca Salí-Dulce se encuentran más impactados positivamente por el fenómeno ENSO en años cálidos; los ríos de la cuenca del río Bermejo presentan mayor impacto positivo en años cálidos a comienzos del verano y en años fríos a finales de esta estación; y los ríos de las cuencas de los ríos Juramento-Salado y Pilcomayo tienen mayor caudal en años fríos que en los cálidos. En el mes de Diciembre, al igual que la precipitación, se observa una gran homogeneidad, en casi toda la región en el comportamiento del caudal de los ríos. Palabras clave: Ríos- ENSO-NOA.

ABSTRACT

In this paper we have studied the possible relations between the ENSO phenomenon (El Niño – Southern Oscillations) and the monthly behaviour of the flow of the rivers in the northeast of Argentina. This analysis attempts to show if the ENSO determines part of the variability of the anomalies in the rivers' flow in NOA. The research was carried out every month in specific seasons during which the averages and the anomalies of the flow of the rivers were analyzed in warm and cold years in the equatorial Pacific Ocean. The results demonstrate that the rivers coming from the Salí- Dulce basin are those who have a greater impact due to the ENSO phenomenon during warm years, whereas the rivers from the basin of the Bermejo river show a positive impact during warm years at the beginning of summer and during cold years at the end of this season; the rivers from the basin of the Juramento, Salado and Pilcomayo rivers shown a greater flow during cold years than during warm ones. In December, we observed a vast homogeneity in the behaviour of the flow of the rivers and the precipitation as well in almost the entire region. Keywords: Rivers - ENSO - NOA.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de El Niño es un complejo fenómeno de interacción entre el océano y la atmósfera. Cada año, en el Océano Pacífico ecuatorial se produce un calentamiento anómalo de las aguas frías superficiales hacia Navidad debido a una corriente cálida con dirección sur. Cuando este fenómeno interactúa con procesos atmosféricos, asociados con la Oscilación del Sur (SO), se prolonga en el tiempo y se extiende en el espacio, dando lugar al fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur).

Ramage (1986), Quinn (1992), Trenberth (1965, 1997), Minetti y otros (2001), Vargas y otros (1999), Ropelewski y Halpert (1987) han analizado la dinámica de este fenómeno como así también el impacto que produce en las distintas regiones del globo y Argentina. El interés en el estudio de este fenómeno se fue incrementando en estos últimos años, precisamente debido a la influencia que el mismo tiene con el tiempo y el clima en otros puntos del planeta.

Los impactos en las precipitaciones de los eventos ENSO fueron estudiados por Ropelewsky y Halper (1987, 1989 y 1996) en una escala global y continental, por Aceituno (1988), Kiladis y Díaz (1989), Rao y Hada (1990), Grimm y otros (1998), por Montecinos y otros (2000) y en Argentina por Vargas y otros (1999). Estos autores han estudiado los cambios de la onda anual de precipitación en períodos trimestra-

les y bimestrales, mientras que Minetti y otros (2006) lo analizaron en forma mensual. Según estos últimos las lluvias mesoscálicas, como las que ocurren en el NOA durante la estación estival podrían hacer desaparecer la señal del ENSO. Vargas y otros (1999) muestran que es necesario dividir en zonas la llanura argentina para estudiar el impacto del fenómeno y hacerlo en mensualmente según la génesis de las precipitaciones e importancia económica de aquellas. La información climática muestra que durante las fases extremas del ENSO en La Puna, una subregión de altura del NOA, se presentan sequías/excesos de precipitación de verano en las fases cálidas/frías del ENSO en contraposición de lo que ocurre en la llanura del Este de Argentina. Minetti y otros (2004) han mostrado modelos espaciales diferentes entre las variabilidades de la precipitación del llano del NOA y La Puna.

La relación entre el fenómeno ENSO y el comportamiento del caudal de los ríos fue estudiada en Colombia por Carvajal y otros (1998), Poveda G. (2004, 1994) y Poveda y Mesa (1996); Quinn y Neal (1983) relacionan las precipitaciones en Chile central, con la ocurrencia de eventos El Niño; y en Argentina el tema fue tratado por Compagnucci y Araneo (2007), Compagnucci y Vargas (1998), Poblete y otros (2005) y Poblete y otros (2008) quienes tratan la relación entre el ENSO y el caudal de los ríos andinos argentinos.

En este trabajo se intentará estudiar la influencia de la señal ENSO en el comportamiento

del caudal mensual de los ríos en el Noroeste Argentino. Se realizará este estudio partiendo de la hipótesis de que este comportamiento no es homogéneo en todo el espacio dado que se trata de una región de topografía accidentada y circulación compleja.

DATOS Y MÉTODOS

Para el análisis se utilizaron datos de 22 estaciones de aforo de ríos del NOA (Estadística Hidrológica Argentina), del período 1914-2003. Se tuvieron en cuenta solamente aquellas estaciones de aforo que contaban con 30 años o más de medición. Los datos originales de caudal de los ríos pueden consultarse en (<http://www.hidricosargentina.gov.ar/estad2004/principal.htm>) Estadística Hidrológica Argentina 2004 (EVARSA).

Las estaciones de aforo estudiadas y las

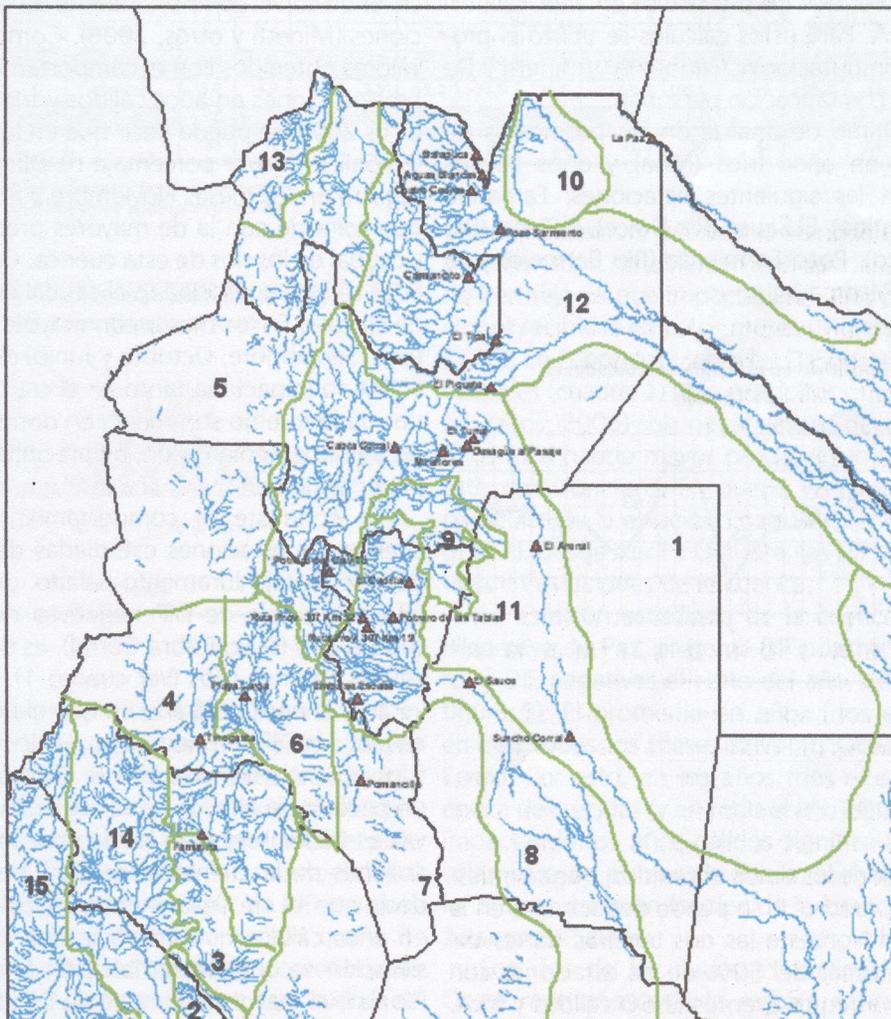
cuenclas pueden verse en la figura 1.

Para determinar los años cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) se utilizó, en el período 1941-1949 los definidos por Minetti y otros (2003) quienes emplean las anomalías de las temperaturas mínimas de Lima (ATILIM) como referente de las condiciones de SST costeras en Perú.

Autores como Rasmusson (1984) y Rasmusson y Carpenter (1982) entre otros, correlacionaron el SOI con las anomalías estacionales de las SST en el Océano Pacífico Ecuatorial y observaron que los valores positivos del SOI correspondían a años fríos y los valores negativos a años cálidos. En función de esto, se determinaron los años fríos (Niña) y cálidos (Niño) para los períodos faltantes: 1914-1940 y 1950-2003.

De esta manera, quedan determinados los años cálidos (El Niño) y fríos (La Niña). Cabe aclarar que estos años no corresponden solamente a eventos El Niño o La Niña, sino que también

CUENCAS Y ESTACIONES DE AFORO



- Redes de Cuenclas:**
 1- De la Este de la provincia de Santiago del Estero
 2- Salinas de Mascarita
 3- Ríos que desagua hacia el desagüe de los Colorados y/o se infiltran
 4- Río Salado en La Rioja
 5- Cuenclas que desaguan en salinas de la Pcia
 6- Ríos que desaguan en el Salar de Pipasaco

- 7- Ríos que desaguan en las Salinas Grandes y de Ambargasta
 8- Río Sal-Ordoñez
 9- Cuencla de los Ríos Hombres-Uneña-Tajamar
 10- Cuencla de los Ríos Iraya-Taragal
 11- De Río Pasaje-Juana y Salado
 12- De Río de Inejó-Salta
 13- De Río Picolamy
 14- De Río de Inejó-La Rioja
 15- De Río Jacial

incluyen los años no-Niño (cálidos o fríos).

Eventos cálidos (El Niño): 1914, 15, 18, 19, 23, 25, 27, 31, 32, 36, 39, 40, 41, 43, 45, 48, 51, 52, 53, 57 al 61, 63, 65, 66, 68, 69, 70, 72, 76, 77, 79, 80, 82, 83, 86, 87, 90 al 95, 97, 01, 02 y 04.

Eventos fríos (La Niña): 1916, 17, 20 al 22, 24, 26, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 37, 38, 42, 44, 46, 47, 49, 50, 54, 55, 56, 62, 64, 67, 71, 73, 74, 75, 78, 81, 84, 85, 88, 89, 96, 98, 99, 2000 y 03.

Para relacionar el fenómeno ENSO con el comportamiento de los ríos se promediaron, por mes, los caudales de ríos en años cálidos y en años fríos. Luego se obtuvieron las diferencias y significaciones estadísticas (pruebas "t" Student, Hoel, 1976) entre ambos grupos de datos (promedio en año cálido - promedio en año frío) en cada estación de aforo. Se obtienen, de esta manera las DIF positivas (los promedios en años cálidos son mayores que los promedios en años fríos) y negativas (los promedios en años fríos son mayores que los promedios en años cálidos) en el NOA. Para estos cálculos se utilizó el programa computacional "Ninonina" (Minetti y De la Zerda, comunicación personal).

Por último de analizar los promedios de caudales en años fríos (Niña) y años cálidos (Niño) en las siguientes estaciones: Famatina (Río Famatina), El Sauce (Río Dulce), El Tunal (Río Juramento), Pozo Sarmiento (Río Bermejo) y La Paz (Río Pilcomayo).

ciembre tiene el mayor porcentaje de estaciones con DIF positivas (81%). La situación de Diciembre se puede observar también en el comportamiento de las precipitaciones, en donde se advierte la aparición de áreas con anomalías homogéneas con DIF positivas (Minetti y otros, 2006) y el efecto orográfico desaparece por el impacto del ENSO.

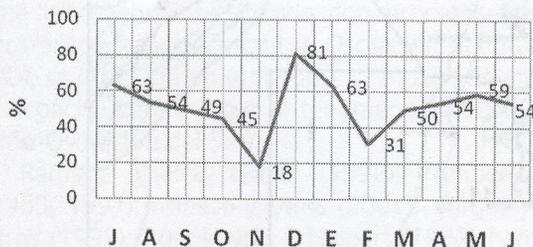
Al analizar la prueba "t" Student (ver cuadro 1, los datos con significación estadística se muestran en negrita) se comprueban 1 o 2 localidades por mes con significación estadística. Los meses que presentan mayor cantidad de datos en esta condición son Julio, Diciembre, Marzo, Abril, Mayo y Junio.

La cuenca del Río Salí-Dulce cuenta con un alto porcentaje de DIF positivas en el año, y el río colector, Río Dulce en El Sauce, (ver figura 3 y cuadro 1) tiene DIF positivas en todos los meses salvo en Noviembre. En el mes de Diciembre todas las estaciones salvo la ubicada en la Ruta provincial 307, Km 52, tienen DIF positivas coincidiendo con el comportamiento de las precipitaciones (Minetti y otros, 2006). Comparando los valores obtenidos con el comportamiento de las precipitaciones en años cálidos y fríos (Minetti y otros 2006) se puede decir que en la cuenca del Río Salí, el mayor porcentaje de DIF positivas se registra en los meses Noviembre y Enero, época que coincide con la de mayores precipitaciones y caudal de los ríos de esta cuenca. Con esto, los años cálidos potenciarían el caudal en los meses de crecida. En los meses con mayores DIF negativas (Septiembre, Octubre y Junio) el fenómeno ENSO no impactaría tanto en el caudal de estos ríos dado que no son meses en donde el aporte de agua proveniente de las precipitaciones sea importante.

En contraste al comportamiento de esta cuenca, las estaciones estudiadas de la cuenca del Río Pasaje-Juramento-Salado presenta un alto porcentaje de DIF negativas durante casi todo el año (salvo Cabra Corral), es decir, mayor caudal en años fríos (ver cuadro 1). Durante el verano, la época del año en que el río lleva más caudal, las DIF son negativas, es decir que años fríos potenciarían este hecho. El único mes con un porcentaje alto de estaciones con DIF positivas es Diciembre, y en Noviembre todas las estaciones de la cuenca tienen DIF negativas, es decir que el río lleva menor caudal promedio en años cálidos que en años fríos. Esta última situación se observa también en la cuenca del Río Salí, el mayor porcentaje de DIF positivas en Diciembre y el menor en el mes que le antecede, Noviembre.

En el caso particular de la estación El Tunal del río Juramento (ver figura 4) el promedio de caudales en los años fríos supera al de los cá-

DIF positivas en estaciones estudiadas en porcentaje



► Figura 2

RESULTADOS

A partir de los datos obtenidos, que se muestran en el cuadro 1, se puede deducir que en la región del Noroeste las dos terceras partes del año tienen más del 50% de las estaciones con DIF positivas entre eventos ENSO cálidos y fríos. Se observan dos picos con mayores porcentajes (ver figura 2), uno en verano y otro en invierno, siendo el del verano más acentuado. En Noviembre y Febrero se encuentran los menores porcentajes de estaciones con DIF positivas y Di-

ESTACIÓN DE AFORO	RÍO	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	TDP %
Tinogasta	Abaucán	-0,1	-0,1	-0,1	0,5	1,8	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	16
Famatina	Famatina	0	0	0	0	-0,1	0	0,1	-0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	83
	TDP %	50	50	50	100	50	50	50	0	50	50	50	50	
Playa Larga	Balén	0	0,1	0	-0,3	-0,3	0,7	0,4	-1,9	1,2	0,2	0,1	0,1	75
	TDP %	100	100	100	0	0	100	100	0	100	100	100	100	
Pomancillo	Del Valle	0	-0,2	-0,3	-0,3	-1,1	1,4	0,6	0	3,5	-0,2	-0,1	-0,1	41
	TDP %	100	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	
Potrero de las Tablas	Lules	0,2	-0,4	-0,2	-0,1	-0,4	0,7	3,8	-0,2	1,6	0,5	0,5	0,2	58
Ruta Prov. 307 Km 19	Los Sosa	0	0,1	0,1	0,1	0,2	2,4	0,6	-4,4	-1,0	0,3	0,3	0,1	83
El Cadillal	Salí	0,4	0	-0,2	-0,3	-1,9	3,8	4,8	1,0	14,7	3,5	1,5	0,1	75
Embalse Escaba	Marapa	0,5	0,1	0	0,2	0,2	4	-0,4	-1	0,5	1,7	0,9	0,5	83
El Sauce	Dulce	6,4	4,1	5,2	4,9	-0,3	26	33,4	60,4	41,6	29,8	19,1	8,4	91
Ruta Prov. 307 Km 52	La Angostura	0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,5	-0,2	0,4	0,8	0,4	0,1	0	-0,1	50
	TDP %	100	66	50	50	33	83	83	50	83	100	100	83	
El Tunal	Juramento	-3,2	-3,3	-4,3	-3,1	-3,5	6,8	-4	-15	-14,7	-2,3	1,5	-1,4	16
Potrero del Clavillo	Las Cañas	0,1	0	-0,1	-0,1	-1	0,7	0,2	-0,4	-0,7	-0,3	-0,1	0,1	41
Miraflores	Juramento	-1,2	1,3	-3,4	-1,6	-3	2,9	-3,8	-4	-12,3	-1,8	1,9	0,7	33
Cabra Corral	Juramento	0,1	0,4	0,6	0,4	-1,9	4,2	-9,9	-9,6	2,7	2,5	0,8	0,2	75
Desagüe al Pasaje	Medina	0	0	-0,1	0	-0,5	1	-0,5	-3,3	-2,1	-1,3	-0,3	-0,1	33
Suncho Corral	Salado	-1,2	-1,2	-2,5	-1,1	-0,5	-1,5	4,0	5,4	-6,8	0,5	-1,7	-0,9	25
	TDP %	50	66	16	33	0	83	33	16	16	33	50	50	
Balapuca	Bermejo	-3,6	-1,8	-1,6	-0,5	2,2	4,3	-7,9	-41,3	-56	-31,8	-8,8	-5,0	16
Aguas Blancas	Bermejo	-0,4	-0,6	-0,7	-0,2	-6,5	23,4	12,9	-36,9	-50,2	-10,8	-2,5	-0,8	16
Pozo Sarmiento	Bermejo	-1,5	-0,1	-2,2	-3,8	-7,9	80,7	50	-56,5	-110,9	-17,6	-13,3	-2,9	16
El Típal	Perico	0,2	0,1	0,2	0,5	-1,1	1,2	3,9	2,4	2,7	2,8	2	0,1	91
El Piquete	Del Valle	0,4	0,2	0,2	0	-0,4	1,3	-0,2	0,2	0,2	0,9	0,4	0,4	83
	TDP %	40	40	40	40	20	100	60	40	40	40	40	40	
La Paz	Pilcomayo	-5,2	-4,9	0,2	5,5	-13,3	-32,5	122,5	-112,9	-105,9	-99	-28,3	-16,2	25
	TDP %	0	0	100	100	0	0	100	0	0	0	0	0	
TDP %		63	54	49	45	18	81	63	31	50	54	59	54	

Cuadro 1: TDP %: Totales de DIF positivas en porcentaje

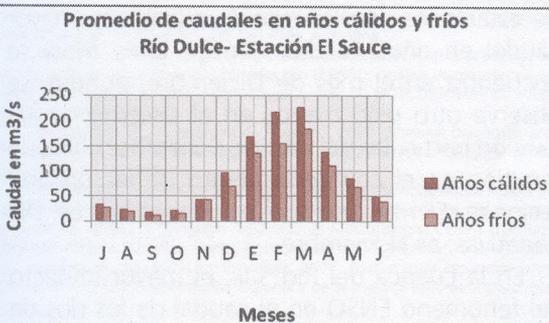


Figura 3

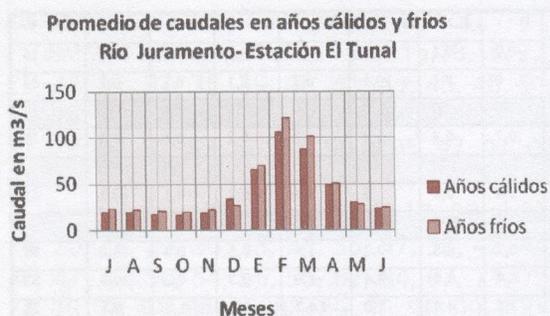
lidos en todos los meses salvo Diciembre. Con esto podemos decir que el volumen de agua en época de crecidas se potenciaría en años fríos.

Los ríos de la cuenca Río Bermejo (Salta) tienen un comportamiento diferente al observado en los ríos Salí-Dulce y Pasaje-Juramento-Salado. Se observa un porcentaje mayor de DIF positivas en el comienzo del verano, mientras que a finales de esta estación hay mayor porcentaje de DIF negativas. Las crecidas en esta cuenca se producen de Diciembre a Marzo debido al volumen de precipitaciones recibidas en su cuenca superior (<http://www.corebe.org.ar/SIH/crecidas.html#17>). En el cuadro 1 se observa alto porcentaje de estaciones con DIF positivas en

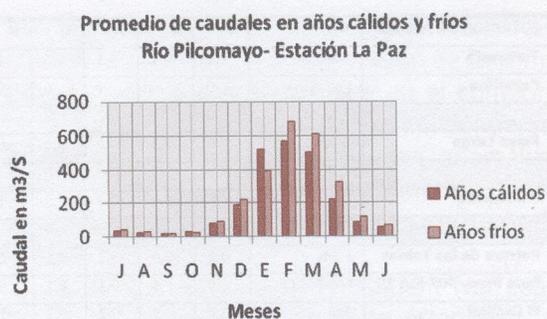
verano, Diciembre y Enero, o sea que años cálidos afectarían notablemente el caudal anual del río Bermejo ya que impactarían en las precipitaciones recibidas en estos meses (Minetti y otros, 2006). En Febrero y Marzo las DIF observadas en caudales (cuadro 1) y en precipitaciones (Minetti y otros, 2006) son negativas, es decir que en años fríos habría mayor caudal en estos meses. Esta situación también puede verse en el caso particular de la estación Pozo Sarmiento (ver figura 7). Desde Abril a Octubre, las DIF son negativas en estaciones de la cuenca.

La estación estudiada de la cuenca del Río Pilcomayo, La Paz, presenta DIF positivas en Enero, y DIF negativas el resto del año (cuadro 1 y figura 5). El promedio en años fríos es mayor en casi todos los meses salvo en Octubre y en Enero. Por esto, en los años fríos el caudal en época de crecidas (y en todo el año) sería mayor, impactando los años cálidos significativamente solamente en el mes de Enero. Esto sería similar a lo ocurrido en los ríos de la cuenca Pasaje-Juramento-Salado.

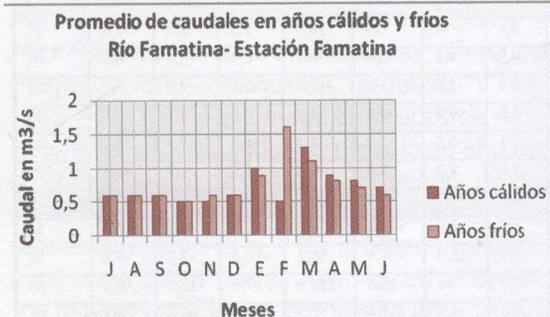
Los ríos de las cuencas ubicadas hacia el Oeste montañoso de la región, no presentan un comportamiento definido y claro que tenga relación con el fenómeno del ENSO, a diferencia de las cuencas antes tratadas. En la Cuenca del Río Salado (La Rioja) se encuentra disparidad entre los dos ríos estudiados (ver cuadro 1), sin



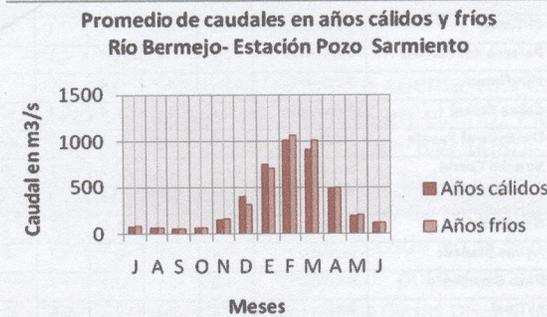
► Figura 4



► Figura 5



► Figura 6



► Figura 7

embargo, ninguno de ellos llega, anualmente, al 50% de los casos con DIF positiva. Por mes, sólo en Diciembre ambos ríos tienen el 100 % de las estaciones con DIF positivas, lo que muestra la homogeneidad a pesar del efecto topográfico en la zona. En la estación Famatina (río Famatina) perteneciente a esta cuenca (figura 6) los caudales promedio en años fríos y cálidos se mantienen iguales en los meses de Julio-Diciembre. En el mes de Febrero se observa un mayor promedio en años fríos evidenciándose una gran diferencia con los años cálidos, hecho que afectaría negativamente el volumen total de agua en la época de crecida en años cálidos, ocurriente entre los meses de Enero y Marzo. En los meses restantes, de Marzo a Junio y en Enero, el promedio es mayor en años cálidos. Los ríos que desaguan en el Salar de Pipanaco (Río Belén) presentan estaciones con DIF positivas, de Marzo a Septiembre, en Octubre y Noviembre hay DIF negativas, en Diciembre y Enero DIF positivas y en Febrero DIF negativas. En los Ríos que desaguan en las Salinas Grandes (Río del Valle) los meses de verano y comienzos del otoño (Diciembre-Marzo) tienen DIF positivas y el resto del año DIF negativas.

CONCLUSIONES

Los ríos más importantes de la región por su caudal como el río Bermejo, el Pilcomayo, el Salí-Dulce y el Juramento-Salado tienen una va-

riabilidad interanual impactada por el fenómeno ENSO. Los ríos de la Puna tienen régimen con menor impacto del ENSO.

Teniendo en cuenta todas las estaciones estudiadas, se concluye que el mayor porcentaje de estaciones con DIF positivas (es decir mayor caudal en años cálidos que en años fríos) se encuentra en el mes de Diciembre, aunque se observa otro pico menor en el invierno. La situación particular del mes de Diciembre coincide también en el comportamiento de las precipitaciones. El mes con mayor porcentaje de DIF negativas, es Noviembre.

En la cuenca del Río Salí, el mayor impacto del fenómeno ENSO en el caudal de los ríos de esta cuenca se produce en años cálidos, es decir que habría mayor caudal en época de crecida en años cálidos.

En la cuenca del río Bermejo habría mayor caudal en años cálidos en el comienzo del verano, mientras que en el final del verano ocurriría lo contrario.

Los ríos de la cuenca del río Pasaje-Juramento-Salado y Pilcomayo presentan mayor porcentaje de DIF negativas a lo largo del año. O sea que en años fríos el caudal de los ríos de estas cuencas sería mayor.

En la zona Oeste de la región, el comportamiento del caudal de los ríos en relación al ENSO es dispar, aunque en todos los casos estudiados el mes de Diciembre se presenta con DIF positivas.

AGRADECIMIENTOS

Al Director del Laboratorio Climatológico Sudamericano de la Fundación Carl C: Zon Caldenius, por facilitar los datos, metodología y equipo computacional para la ejecución de este trabajo.

Al Ingeniero Luis De la Zerda, por su colaboración al facilitar e instalar el programa "Nino-nina".

A la firma EVARSA por la información hidrológica de la R. Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector, Part I, Surface Climate. *Mon. Wea. Rev.*, vol. 116, 505-524.
- Carvajal, Y. H., Jimenez y H. Materon, 1998: Incidencia del fenómeno ENSO en la hidroclimatología del Valle del río Cauca-Colombia. *Bulletin Institute française d'Etudes Andines*, 27 (3).
- Compagnucci, R.H. y Vargas, W.M., 1998: Interannual variability of Cuyo Rivers Streamflow in Argentinean Andean Mountains and ENSO events. *International Journal of Climatology*. Vol.18, pp. 1593-1609.
- Compagnucci, R.H. y D.C. Araneo, 2007: Alcances de El Niño como predictor del caudal de los ríos andinos argentinos. *Rev. Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXII, núm. 3, pp. 23-35, México.
- EVARSA, 2004: Estadística Hidrológica de la R. Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos. ISBN 987-98869-3-3. Argentina. En Internet: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/estad2004/principal.htm>
- Grimm, A., S. Ferraz and J. Gomes, 1998: Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, 11, 2863-2880.
- Hoel, P.G., 1976: Introducción a la estadística. Edit. Ariel, 431 pgs. <http://www.corebe.org.ar/SIH/crecidas.html#17>
- Kiladis, G.N. and Diaz, H.F., 1989: Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate*, vol. 2, 1069-1089.
- Minetti, J.L., W.M. Vargas y A.G. Poblete, 2001: Observando a El Niño/La Niña con la temperatura de Lima (Perú). *Rev. De Geo.*, Año IV, N°5, 31-51. UNSJ.
- Minetti, J.L., W.M. Vargas y A.G. Poblete, A.G., 2003: Eastern equatorial pacific SST variability related with the temperature of Lima (Peru). *Recent Res. Devel. Meteorol.*, 2, 1-19. Kerala, India.
- Minetti, J.L., W.M. Vargas y S. Albarracin, 2004: La variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en el Noroeste Argentino. *Rev. De Geografía*, Año VII, Nro. 8, 32-50. IGA-UNSJ. San Juan, Argentina.
- Minetti J.L., W. M. Vargas y M. Leiva, 2006: Cambios en la precipitación media de Argentina y Chile relacionadas con el ENSO. *Análisis de mesoescala en el Noroeste Argentino*. *Revista de Geografía*, Año IX, N°10, Diciembre de 2006. San Juan. ISSN 1514-1942
- Montecinos, A., A. Diaz, and P. Aceituno, 2000: Seasonal Diagnostic and Predictability of Rainfall in Subtropical South America Based on Tropical Pacific SST. *J. Climate*, 13, 746-758.
- Poblete, A., J.L. Minetti y W. Vargas, 2005: Teleconexiones entre índices de circulación atmosférica-oceánica, con los derrames anuales de los ríos de Cuyo y Comahue. *Anales IX Congreso Argentino de Meteorología*. Centro argentino de Meteorólogos, "Tiempo, Clima, Agua y Desarrollo Sostenible". Buenos Aires.
- Poblete, A., J.L. Minetti y V. Valdez, 2008: Asociaciones espaciales entre índices de circulación atmosférica regional y de la cupla océano-atmósfera, con los caudales del río San Juan-Argentina. *Revista de Geografía*, Año X, N° 12. San Juan Argentina.
- Poveda G., 1994: Cuantificación del efecto El Niño y La Niña sobre los caudales medios en Colombia. *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología*, IAHR, Vol 4, pp. 107-117, Santiago de Chile.
- Poveda G. y O. Mesa, 1996: Las fases extremas del fenómeno ENSO-El Niño, La Niña y su influencia sobre la hidrología colombiana. *Rev. Ingeniería Hidrológica en México*, Vol XI, N°1, pp. 21-37, México.
- Poveda G., 2004: La Hidroclimatología de Colombia: una síntesis dese la escala interdecadal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb.*, Vol 28, N° 107. Colombia.
- Quinn, W.H. y V.T. Neal, 1983: Long-term variations in the Southern Oscillation, El Niño and the Chilean subtropical rainfall. *Fish. Bull.* Vol. 81, pp. 363-374.
- Quinn, W.H., 1992: A study of the Southern Oscillation related climatic activity for A.D. 622-1900 incorporating Nile River flood data. *El Niño-Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*. Chapter six, 121-149.
- Ramage, C.S., 1986: El Niño. En "El Clima". Libros de investigación y ciencia, 67-75. Prensa Científica Barcelona.
- Rao, V.B., and K. Hada, 1990: Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Ther. Appl. Climatol.*, 42, 81-91.
- Rasmusson, E. M. y T.H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Weather Rev.*, 110, 354-84.
- Rasmusson, E.M., 1984: El Niño: The Ocean/Atmosphere Connection. *Oceanus*, 27 (2): 5-12.
- Ropelewski, C.F. and M.S. Halpert, 1987: Global and regional patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, vol. 115, 1606-1626.
- Ropelewski, C.F. and M.S. Halpert, 1989: Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, vol. 2, Nro. 3, 268-284.
- Ropelewski, C.F. and M.S. Halpert, 1996: Quantifying Southern Oscillation-precipitation relationships. *J. Climate*, vol. 9, 429-438.
- Trenberth, K.E., 1965: the definition of El Niño. *Bull. Of MMS* 78, 2771-2777.
- Trenberth, K. E., 1997: The Definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2771-2777.
- Vargas, W.M., O.C. Penalba y J.L. Minetti, 1999: Las precipitaciones mensuales en zonas de la Argentina y el ENOS. Un enfoque hacia problemas de decisión. *Meteorológica*, vol. 24, Nros. 1-2, 3-22.

LA PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA CUENCA DEL RÍO IRUYA: ANÁLISIS BASADO EN LA TOPOGRAFÍA

Daniel F. Barrera

CONICET - Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires - Email: dbarrera@agro.uba.ar

Adriana B. Basualdo

Oficina de Riesgo Agropecuario (MAGyP)

Fecha de Entrega: 19-11-2011 / Fecha de Aprobación: 21-07-2011

RESUMEN

Se realizó el estudio del régimen de precipitación en la cuenca del Río Iruya a partir de series de datos pluviométricos diarios en 11 estaciones. Mediante el análisis de correlación espacial de las precipitaciones mensuales observadas, y de la ubicación de las estaciones y los cordones montañosos interiores a la cuenca, se determinaron tres regiones con regímenes distintos: un sector este con gran disponibilidad de aire húmedo, un sector central con menor humedad, y un sector noroeste con muy poca humedad que ingresa por los valles de los ríos Iruya y Nazareno. Teniendo ello en cuenta, se propuso una relación empírica que se ajustara con los valores anuales medios de precipitación en las 11 estaciones. Dicha relación es función de la altura del terreno y de la distancia recorrida por las parcelas de aire desde el límite este de la cuenca -zona de ingreso de la humedad atmosférica- hasta el punto analizado. Los valores estimados de precipitación anual y estival verifican un buen ajuste con los observados.

Palabras clave: precipitación media anual - climatología - semestre cálido - topografía - disponibilidad de humedad atmosférica.

ABSTRACT

The study of the precipitation regime in the Iruya River Basin was carried out, starting from series of daily data in 11 pluviometric posts. By means of the analysis of space correlation of the observed monthly rainfall values, and of the location of the stations related to the topographic characteristics, three regions were determined with different regimes: an eastern sector which receives advection of humid air from the east, a central sector with smaller availability of water vapor, and a northwestern sector with very little air humidity that enters through the valleys of the rivers Iruya and Nazareno. Keeping it in mind, an empiric relationship for the annual mean precipitation as a function of the terrain elevation and of the distance traveled by the air parcels from the eastern border of the basin (area of entry of the water vapor), was proposed and then fitted to the data at the 11 stations. The estimated values of annual and summer precipitation verify a good fitting with those observed.

Keywords: Mean annual precipitation - climatología - warm semester - topography - availability of atmospheric moisture

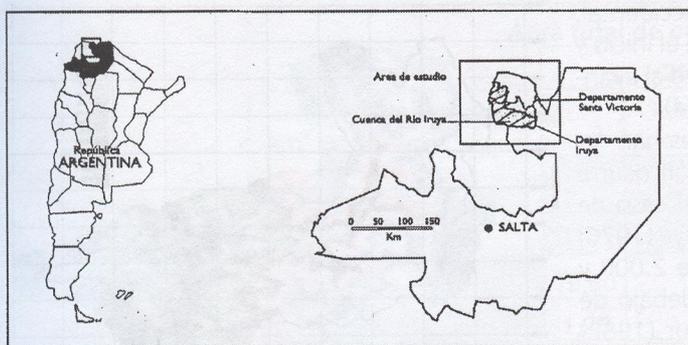
INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La complejidad de la orografía del noroeste argentino se ve reflejada claramente en la distribución espacial de la precipitación en términos climáticos. Aún en mapas de isohietas con baja y media resolución espacial la influencia de la orografía está presente (Hoffmann 1971; Bianchi et al 1992; Minetti 1999). Sin embargo, los estudios mencionados son de carácter regional y por lo tanto las isohietas están suavizadas y no reflejan la realidad en escalas de mayor resolución espacial; en el caso de una topografía compleja como el que nos ocupa, un aumento en la resolución espacial sin duda se corresponderá con isohietas menos suavizadas, ya que la precipitación está influenciada localmente de varias formas por la orografía, tales como la posibilidad o no de ingreso de humedad debido a una barrera orográfica, el ascenso forzado sobre las laderas, y la ubicación a barlovento o a sotavento de un obstáculo al flujo en capas troposféricas bajas. Para aplicaciones a la actividad humana en temas tan diversos como la agricultura, la ganadería, la mitigación de la erosión hídrica y la preservación del ambiente en general, es esencial

conocer la distribución espacial de la precipitación -en términos climáticos- con alto grado de detalle, el cual ponga en evidencia las variaciones locales en terreno de orografía compleja. Tal es el caso de la cuenca del río Iruya, que nace en montañas de gran altura contra la quebrada de Humauaca (sobresale el Cerro Morado con más de 5000 msnm). Desemboca en el río Pescado a solo 450 msnm y tiene un área de aporte de 3002 km². Está ubicada en la Provincia de Salta, y forma parte de la cuenca del Río Bermejo, en la región serrana del noroeste argentino (Figura 1). En la evaluación de su sistema natural, una parte fundamental corresponde al conocimiento de la climatología de la precipitación. La marcha anual de esta variable en términos climáticos se refleja en los caudales: el caudal medio anual en la localidad de San José es de 25.6 m³ s⁻¹, con un caudal máximo medio diario de 457 m³ s⁻¹ según la Estadística Hidrológica de la Secretaría de Energía de la Nación - EVARSA (1994).

La región está sujeta a un régimen monzónico, con una estación seca invernal y una estación lluviosa que normalmente va de octubre a abril. González y Barros (1998) estudiaron el inicio del monzón sudamericano y su influencia en la finalización del período seco invernal sobre la región de Argentina subtropical. Definieron para ello criterios basados en valores umbrales



► Figura 1. Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Iruya

que es necesario superar para detectar así el inicio de la estación lluviosa. Liebmann y Marengo (2001) avanzaron en este sentido y definieron un criterio basado en la lluvia acumulada en cinco días, dividiendo el año en péntadas. Para el noroeste argentino se pudo identificar claramente que durante el mes de octubre comienza dicha estación. Rivera et al (2009) utilizaron el criterio de péntadas de precipitación propuesto por Liebmann y Marengo para identificar el comienzo de la estación lluviosa en la región subtropical de Argentina en un año en particular. Encontraron fluctuaciones de péntadas de un año a otro, pero predominantemente en octubre. Con criterios similares puede identificarse al mes de abril como aquél en el cual finaliza típicamente el período lluvioso. En virtud de lo antedicho, podemos concluir que es conveniente conocer, además del mapa de isohietas anuales medias, el correspondiente al período lluvioso octubre-abril.

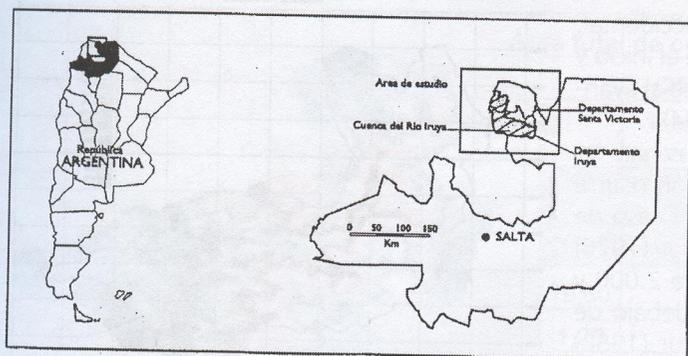
La causa del inicio y del fin de la estación lluviosa es la circulación troposférica de capas bajas representada por el campo de movimiento en 850 hPa. Esta se caracteriza en la zona norte del continente sudamericano por vientos alisios que fluyen hacia el oeste congruentemente con las fluctuaciones estacionales. El flujo es interrumpido por la cordillera de los Andes, y entonces ocurre una rotación gradual del mismo hacia el sur primero y hacia el sudeste después sobre toda la vertiente oriental de las montañas entre el ecuador y 30°S. En la región de relativa baja presión comprendida entre 15° y 40°S se evidencia en capas bajas (< 850 hPa) una corriente proveniente del sector norte-noroeste que es la responsable del transporte de vapor de agua y calor desde la cuenca del Amazonas hacia el norte de Argentina, Paraguay y el sudeste de Brasil. Hay antecedentes tanto de observaciones como de modelos numéricos que muestran la presencia de un transporte meridional de vapor de agua durante los meses de primavera y verano, desde la Amazonia hacia el sur (Nogues Paegle y Mo, 1997, Berbery y Collini, 1999, Saulo et al., 2000, y Seluchi y Marengo, 2000). Inmerso en esta co-

riente ocurren frecuentemente máximos en la velocidad del viento en un perfil tipo jet en la troposfera baja denominados "corriente en chorro sudamericana en capas bajas" (SALLJ por sus siglas en inglés) a lo largo de las estribaciones orientales de los Andes. Paegle (1998), Salio et al (2002) y Marengo et al (2004) hicieron una revisión sistemática del SALLJ. Por otra parte, los trabajos de Velasco y Fritsch (1987), Zipser et al (2004) y Salio et al (2007), muestran la relación existente entre la formación de sistemas convectivos organizados en la mesoescala y la convergencia de vapor de agua corriente abajo de los SALLJs.

Hipótesis de trabajo

En ocasiones la dinámica de la atmósfera ocasiona vientos del sector este desde el Chaco hacia el Altiplano, dando oportunidad al aire húmedo de penetrar por los valles con orientación este-oeste en cuencas con barreras montañosas laterales muy altas, como es el caso en la cuenca del Iruya.

A medida que el aire húmedo va penetrando en la cuenca del Iruya y va alcanzando niveles más altos forzado por la orografía, va descargando su humedad en forma de lluvia, principalmente sobre las laderas, y llega a las nacientes de la cuenca -que es la parte más alejada de la fuente de humedad- más seco, con la consiguiente disminución de la precipitación. Casos similares de cuencas encerradas por cordones montañosos altos se han reportado en otras regiones de Norteamérica y Asia (Schermerhorn 1967; Hibbert 1977; Higuchi et al 1982). En términos climáticos regionales, un caso similar al del Altiplano y sus estribaciones al este del mismo ocurre en los Himalayas. A pesar de que los estudios acerca de la lluvia en esta región han sido limitados debido a la falta de información a grandes altitudes (Singh et Al. 1995) se ha podido establecer que en las regiones altas de los Himalayas la lluvia disminuye de sur a norte a medida que los vientos monzónicos se mueven hacia regiones más altas. También hay una reducción en la lluvia total del este hacia el oeste a



► Figura 1. Ubicación geográfica de la Cuenca del Río Iruya

que es necesario superar para detectar así el inicio de la estación lluviosa. Liebmann y Marengo (2001) avanzaron en este sentido y definieron un criterio basado en la lluvia acumulada en cinco días, dividiendo el año en péntadas. Para el noroeste argentino se pudo identificar claramente que durante el mes de octubre comienza dicha estación. Rivera et al (2009) utilizaron el criterio de péntadas de precipitación propuesto por Liebmann y Marengo para identificar el comienzo de la estación lluviosa en la región subtropical de Argentina en un año en particular. Encontraron fluctuaciones de péntadas de un año a otro, pero predominantemente en octubre. Con criterios similares puede identificarse al mes de abril como aquél en el cual finaliza típicamente el período lluvioso. En virtud de lo antedicho, podemos concluir que es conveniente conocer, además del mapa de isohietas anuales medias, el correspondiente al período lluvioso octubre-abril.

La causa del inicio y del fin de la estación lluviosa es la circulación troposférica de capas bajas representada por el campo de movimiento en 850 hPa. Esta se caracteriza en la zona norte del continente sudamericano por vientos alisios que fluyen hacia el oeste congruentemente con las fluctuaciones estacionales. El flujo es interrumpido por la cordillera de los Andes, y entonces ocurre una rotación gradual del mismo hacia el sur primero y hacia el sudeste después sobre toda la vertiente oriental de las montañas entre el ecuador y 30°S. En la región de relativa baja presión comprendida entre 15° y 40°S se evidencia en capas bajas (< 850 hPa) una corriente proveniente del sector norte-noroeste que es la responsable del transporte de vapor de agua y calor desde la cuenca del Amazonas hacia el norte de Argentina, Paraguay y el sudeste de Brasil. Hay antecedentes tanto de observaciones como de modelos numéricos que muestran la presencia de un transporte meridional de vapor de agua durante los meses de primavera y verano, desde la Amazonia hacia el sur (Nogues Paegle y Mo, 1997, Berbery y Collini, 1999, Saulo et al., 2000, y Seluchi y Marengo, 2000). Inmerso en esta co-

riente ocurren frecuentemente máximos en la velocidad del viento en un perfil tipo jet en la troposfera baja denominados "corriente en chorro sudamericana en capas bajas" (SALLJ por sus siglas en inglés) a lo largo de las estribaciones orientales de los Andes. Paegle (1998), Salio et al (2002) y Marengo et al (2004) hicieron una revisión sistemática del SALLJ. Por otra parte, los trabajos de Velasco y Fritsch (1987), Zipser et al (2004) y Salio et al (2007), muestran la relación existente entre la formación de sistemas convectivos organizados en la mesoescala y la convergencia de vapor de agua corriente abajo de los SALLJs.

Hipótesis de trabajo

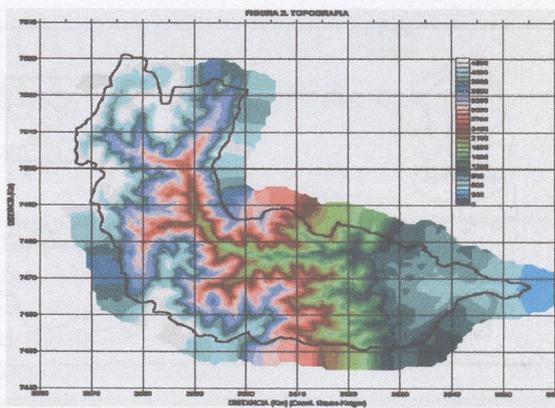
En ocasiones la dinámica de la atmósfera ocasiona vientos del sector este desde el Chaco hacia el Altiplano, dando oportunidad al aire húmedo de penetrar por los valles con orientación este-oeste en cuencas con barreras montañosas laterales muy altas, como es el caso en la cuenca del Iruya.

A medida que el aire húmedo va penetrando en la cuenca del Iruya y va alcanzando niveles más altos forzado por la orografía, va descargando su humedad en forma de lluvia, principalmente sobre las laderas, y llega a las nacientes de la cuenca -que es la parte más alejada de la fuente de humedad- más seco, con la consiguiente disminución de la precipitación. Casos similares de cuencas encerradas por cordones montañosos altos se han reportado en otras regiones de Norteamérica y Asia (Schermerhorn 1967; Hibbert 1977; Higuchi et al 1982). En términos climáticos regionales, un caso similar al del Altiplano y sus estribaciones al este del mismo ocurre en los Himalayas. A pesar de que los estudios acerca de la lluvia en esta región han sido limitados debido a la falta de información a grandes altitudes (Singh et Al. 1995) se ha podido establecer que en las regiones altas de los Himalayas la lluvia disminuye de sur a norte a medida que los vientos monzónicos se mueven hacia regiones más altas. También hay una reducción en la lluvia total del este hacia el oeste a

lo largo del camino del monzón sudoccidental, a medida que la cantidad de días entre el inicio y el fin de la temporada lluviosa se reduce al avanzar hacia el oeste (Kansakar et Al. 2004).

Por otra parte, varios investigadores han reportado que el máximo de precipitación ocurre por debajo de las altas cumbres. En el caso de los Himalayas, según Dhar y Bhattacharya (1976) la franja de lluvias máximas está entre 2.000 y 2.400 m snm; Barry (1981) la ubica debajo de 2.000 m mientras Upadhyay y Bahadur (1982) indica la zona de lluvia máxima entre 1.500 y 2.500 m. En Norteamérica se han reportado perfiles similares, con máximos por debajo de las cumbres (Peck y Brown 1962; Hibbert 1977; Barry 1981). Nuestra hipótesis es que este perfil vertical de precipitación, con un máximo en altitudes intermedias sobre las laderas, tiene estrecha relación con los niveles de condensación por ascenso forzado (NCA) y de condensación por convección (NCC); este último indica el nivel de la base de la nube cúmulus cuando existe inestabilidad condicional y el ascenso forzado por la orografía desencadena la convección, y también cuando el calentamiento diurno hace que se modifique el perfil vertical de temperatura del aire por mezcla vertical, hasta que hacia la hora de la máxima temperatura en superficie el perfil en capas bajas se vuelve inestable y hay condiciones de inestabilidad convectiva. A la altura de la base de la nube ocurrirá el máximo de intensidad de lluvia sobre la ladera, mientras que pendiente arriba la lluvia que se recibe en la ladera ya no proviene del total de la nube, pues la base de ésta tiene menor altitud. Otros autores muestran distribuciones verticales en los cuales la precipitación sobre las laderas aumenta monótonamente con la altitud, pero estos perfiles no sobrepasan los 3000 m de altura. Algunos ejemplos se muestran en Peck y Brown (1962); Daly et al (1994), Dirks et al (1998), Michaud et al (1995) y Diodato (2005).

Además del ascenso mecánico forzado por las laderas hasta el punto de formar nubes estratiformes precipitantes, y del desencadenamiento de la convección, existe un tercer factor causante de la precipitación en la cuenca: la lluvia iniciada en el lado de barlovento de la barrera orográfica puede persistir luego de que el flujo pasa sobre la cresta. En el caso de la cuenca del Iruya, esto puede ocurrir únicamente en el tercio inferior de la cuenca, donde en su límite oriental la cresta orográfica es baja y se ubica en dirección noroeste-sudeste (ver Figura 1). En el resto de la cuenca la divisoria de aguas se sitúa por encima de los 3800 m y el aire húmedo proveniente de los sectores norte y este deja la casi totalidad de su humedad en las laderas a barlovento debido a la condensación al ascender, y por lo tanto no



► Figura 2. Topografía de la Cuenca del Río Iruya. Escala de alturas en metros snm.

produce lluvia dentro de la cuenca.

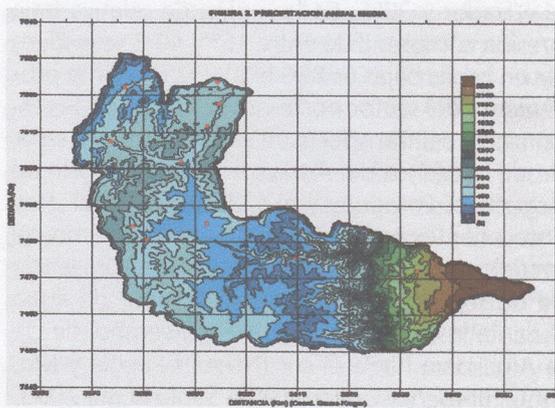
Los objetivos del estudio fueron los de estimar, a partir de información de una red pluviométrica poco densa y de distribución muy irregular en las inmediaciones de la cuenca, los campos climáticos de precipitación acumulada anual y estival en la cuenca del Río Iruya, los cuales están signados por la orografía (Figura 2).

Debido a la baja densidad espacial de estaciones pluviométricas, no pudieron aplicarse técnicas tales como las propuestas por Gyalistras (2003) y Daly et al (1994). El modelo propuesto por Daly et al, denominado PRISM, requiere efectuar regresiones con submuestras independientes (con series temporales de datos de varias estaciones) en cada ladera de una región.

DATOS Y METODOLOGÍA

Generación de series de precipitación acumulada mensual

Se contó con series de precipitación acumulada diaria en las doce estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del Río Iruya, cubriendo períodos variables para cada estación, entre 1982 y 1996. Esta información fue provista por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación para un estudio requerido por la Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE) (Barrera 1999).



► Figura 3. Precipitación anual media. Escala en mm.

	Área total de cuerpos de agua					
	2004		2007		2009	
	km ²	% de la unidad geomorfológica	km ²	% de la unidad geomorfológica	km ²	% de la unidad geomorfológica
Llanura continental	46,40	0,15			44,50	0,15
Llanura litoral	32,90	1,40			11	0,47
Mesetas			19,60	0,23	12,15	0,14
Sierras			1,25	< 0,10	0,23	< 0,10

► Tabla 1: Listado de estaciones de medición de la precipitación

El listado de las estaciones, con su ubicación y su cota altimétrica se presentan en la Tabla 1 y en la Figura 3.

La primera etapa consistió en un análisis de consistencia y depuración de los datos diarios disponibles. Se seleccionó el período enero 1983- febrero 1996 (trece años y dos meses) como Período de Análisis, ya que en el mismo la mayoría de las series tiene información simultánea, lo cual es condición necesaria en los estudios posteriores. La estación N°12 (Colanzuli) no se utilizó, ya que presenta registros de observaciones a partir de enero de 1994, siendo insuficiente para el análisis el período común con las restantes estaciones.

La precipitación diaria en la región estudiada es altamente variable en el espacio y discontinua en el tiempo. Por ello se torna extremadamente difícil detectar errores de observación, tales como la omisión de la medición y el posterior reemplazo del valor verdadero desconocido por un cero, el corrimiento al día siguiente en la planilla de registro, o el corrimiento de la coma decimal al asentar el dato (por ejemplo, asentar 21 mm cuando la medición fue de 2,1 mm) (Barrera 1988). Teniendo esto en cuenta, se realizó un análisis de consistencia física mediante el desarrollo de algoritmos de cálculo y sus respectivos programas en lenguaje Fortran, comparando los datos con límites mínimos y máximos asignados en concordancia con el régimen climático de precipitación en la región y teniendo en cuenta la orografía. Dichos límites fueron tomados del trabajo de Raffaelli y Moyano (2002), quienes generaron mapas con la distribución espacial de la precipitación máxima diaria media en la cuenca del río Iruya; para ello efectuaron una regionalización tomando en cuenta los estudios previos de Hoffmann (1971) y Bianchi y Yáñez (1992).

A continuación se generaron series de precipitación acumulada mensual a partir de los datos diarios. Muchas distribuciones de frecuencia se han utilizado para evaluar las probabilidades de precipitación mensual en localidades perte-

recientes a regiones con climas diversos. Legates (1991) realizó un análisis estadístico exhaustivo utilizando series mensuales de esta variable construidas a partir de datos diarios puntuales. Utilizó un procedimiento de validación cruzada para una red mundial de 253 estaciones para las que se disponía de al menos 100 años de totales mensuales de precipitación. Para todas las series comparó ocho funciones de densidad de probabilidad, entre ellas la lognormal, y concluyó que esta es adecuada para describir la variabilidad de la precipitación mensual. En concordancia con estos resultados, se utilizó la distribución lognormal para ajustarla a las series mensuales disponibles en cada uno de los meses del período lluvioso (octubre a abril). Dichas series tenían cada una entre 13 y 15 datos del período 1982-1996. Se obtuvo para cada mes una distribución particular caracterizada por los dos parámetros de ajuste obtenidos: la media y la desviación típica de los logaritmos naturales de los datos mensuales. Si bien estas distribuciones no pueden considerarse definitivas dada la corta longitud de las series analizadas, sirvieron para verificar que ninguno de los valores mensuales usados pudiera considerarse un "outlier" y debiera ser descartado. En consecuencia se concluyó que los datos pluviométricos contenidos en los registros no poseen inconsistencias físicas detectables mediante el examen de los mismos.

Se encaró entonces el problema del relleno de información faltante en series de precipitación acumulada mensual, sobre un período común de al menos 10 años. Se tomaron como aptas para ser rellenadas las series mensuales que presentaban no más del 10% de datos faltantes en el período seleccionado (OMM 1994). Con este criterio se determinó el período octubre/1984 - febrero/1996 (12 años y 13 veranos) denominado "Período con Información Suficiente", como aquél válido para realizar análisis posteriores con las series rellenadas, y en el cual se estimaron los valores mensuales faltantes. En dicho período, cuatro de las once estaciones seleccionadas resultaron estar completas; las siete

restantes debieron ser rellenadas (en proporciones menores al 10% en cada caso).

A fin de estimar los valores mensuales faltantes se realizaron análisis estadísticos. Las regresiones lineales múltiples tuvieron mejor ajuste que las no lineales. Se tomaron, por lo tanto, como ecuaciones predictoras las regresiones lineales múltiples halladas para cada estación (Shearman y Salter 1975), excepto en los casos de las estaciones San Antonio y Nazareno, en las cuales se utilizaron las tres regresiones univariadas de mejor ajuste (lineales o cuadráticas) como ecuaciones predictoras; para estas dos estaciones el valor de relleno del dato faltante para un mes en particular se calculó obteniendo las tres estimaciones respectivas, y luego efectuando un promedio de éstas pesado con la varianza explicada por cada regresión (Barrera y Basualdo 1997).

Se procedió al relleno de las series de precipitación mensual mediante el desarrollo y aplicación de un programa computacional. La función de interpolación espacial propuesta y empleada fue el promedio ponderado siguiente:

$$PM_k = \frac{\sum_{j=1}^m c_{jk} \cdot PM_j}{\sum_{j=1}^m c_{jk}}$$

Donde PM es la precipitación mensual del mes y año analizado, k indica la estación sin dato, j es el índice de las estaciones (), m es la cantidad de estaciones con dato ese mes y año, y cjk es el coeficiente de correlación de la precipitación entre las estaciones j y k para el mes analizado.

Asimismo, para sustentar el análisis topoclímático posterior, se utilizó un modelo digital de elevación de terreno (MDE) —más conocido por sus siglas en inglés (DEM)— con tamaño de malla cuadrada de 30 m de lado. El mismo, con georreferenciación en coordenadas Gauss-Kruger, fue provisto por la COREBE y realizado por la Universidad Nacional del Litoral (1998) con información cartográfica provista por el Instituto Geográfico Militar.

Generación de mapas de precipitación media anual y estival

Para la determinación de la precipitación media anual estimada (P.A.E.) en cada punto de la cuenca a partir de la información de las 11 estaciones seleccionadas (ver sección 2.1), se decidió efectuar regresiones no lineales con varias expresiones matemáticas polinómicas que fueron propuestas. Para determinar la función de mejor ajuste se adoptó el criterio de selección de aquella que minimiza el error cuadrático medio de las estimaciones con respecto a las observaciones pluviométricas. Las funciones son del tipo:

$$P.A.E. = \sum_{i=0}^n c_i \cdot X^i$$

Donde n es el número de términos; c_i es el coeficiente de ajuste empírico regresivo y X la variable explicativa. A su vez, esta última es una función de la altura del terreno (Z) y de la fracción porcentual de camino recorrido (F) desde el borde este de la cuenca. Se propusieron varias expresiones, entre ellas funciones lineales de dos términos (uno en Z y el otro en F), y funciones de un solo término conteniendo en forma multiplicativa las variables explicativas Z y F. En especial se exploraron funciones de tipo exponencial como la siguiente:

$$X = k_1 Z [1 - \exp(-k_2 F)]$$

Donde k_1 y k_2 son coeficientes positivos de ajuste.

Para la precipitación media estival estimada (P.E.E.), se propusieron relaciones lineales y no lineales cuyas variables independientes son la precipitación anual media (P.A.E.) y la fracción porcentual de camino recorrido (F), siendo ésta cero en el límite este de la cuenca, y cien en la parte más lejana. Las expresiones propuestas incluyeron funciones de términos independientes en P.A.E. y F, así como funciones de un solo término en donde dichas variables explicativas se multiplican.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Zonificación de la cuenca por regímenes de precipitación

A fin de realizar el estudio del régimen de precipitación en la cuenca del Río Iruya, y su posible zonificación, se analizó el grado de asociación estadística de la precipitación mensual en las 11 localidades con estaciones pluviométricas. Debido a las limitaciones que impone la baja densidad espacial de estaciones pluviométricas disponible (discutido en las secciones 1.2 y 2.1), se decidió efectuar un análisis de correlación espacial. Se obtuvo así la matriz de correlaciones entre pares de estaciones, para la precipitación acumulada mensual.

Por otra parte, se analizaron las características topográficas de la cuenca, la ubicación de las estaciones en esta topografía compleja, y el grado de exposición de cada estación al arribo de aire húmedo, el cual penetra en la cuenca desde el este según se discutió en la sección 1.2.

De los análisis topográfico y estadístico realizados surgió claramente la relación entre los montos de precipitación en cada sitio con la ubicación de las estaciones y los cordones montañosos interiores a la cuenca. Se hace evidente, en un estudio preliminar, la existencia de tres re-

giones con regímenes distintos de precipitación debido a la diferente disponibilidad de humedad atmosférica:

- La región comprendida entre el cierre de la cuenca y el cordón que, partiendo del cerro Vizcacha, se dirige hacia el norte, separando las cuencas de los Ríos Astillero e Higuera. Por el norte, este límite se completa con la Sierra El Astillero. Esta es la región que está abierta a la entrada de aire húmedo desde las planicies del este, y por lo tanto la de mayores lluvias. Dentro de esta región está la estación 1 (San José).

- La región central comprendida entre el límite oeste de la región este, y el cordón montañoso que parte del cerro Fraile hacia el norte, pasando por los cerros Morado y Pelado. Dentro de esta región está ubicada la estación 4 (San Antonio). La disponibilidad de humedad es menor y, por lo tanto, decrece la precipitación con respecto a la primera región.

- La región al oeste de la región central, en donde están ubicadas las estaciones 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11. Los datos de la estación 6 (Nazareno) son, aparentemente, de menor calidad dada sus bajas correlaciones con las otras estaciones. En menor medida, la estación 9 (Poscaya) presenta un problema similar. Esta región es la más seca. El aire húmedo sólo puede entrar desde el sur, principalmente por el valle del Río Iruya en la zona cercana a la estación 3 (Higuera), y en menor medida sobrepasando el cordón montañoso que une los cerros Fraile, Morado y Pelado, separando esta región de la central. Esto es así porque el límite de cuenca presenta elevaciones muy importantes, y el aire, al ascender por encima de 4.000 metros, pierde casi toda su humedad debido a la condensación durante el ascenso.

Estimación de los campos climáticos de precipitación anual y estival

Las tres zonas identificadas en el punto anterior, responden a un único patrón anual de lluvias, con una estación húmeda de octubre a abril, y una estación seca el resto del año. Esto responde al régimen monzónico prevaleciente en la región, que provee advección de aire húmedo y potencialmente inestable desde el norte en los meses estivales. Por lo tanto, la precipitación se debe fundamentalmente a procesos convectivos, y, además, los campos climáticos de precipitación anual y estival son muy similares. En este estudio se ha considerado como período estival el que va de octubre a abril.

No fue posible construir diagramas de dispersión de precipitación versus altura de la estación, para cada una de las 3 regiones, ya que en dos de ellas sólo se disponía de una estación. En consecuencia, se buscó una relación empírica que se ajustara con los valores anuales medios

de precipitación en las 11 estaciones, en función de: a) La altura del terreno (ver Barry 1981); y b) La distancia recorrida por las parcelas de aire desde el límite este de la cuenca (zona de ingreso de la humedad) hasta el punto analizado (ver Barry 1981 y Barrera 1999).

Los valores de precipitación anual observada (P.A.O.) y estival observada (P.E.O.), ambos en mm, se muestran en la Tabla 2. Se consignan asimismo los datos de distancia recorrida en km., y altura de las estaciones en m, a fin de hacer notar la fuerte dependencia de la precipitación con los parámetros mencionados.

Para la determinación de la precipitación anual estimada (P.A.E.) a partir de la información de las 11 estaciones se siguió el criterio expuesto en la sección 2.2. La función empírica de mejor ajuste hallada fue el siguiente polinomio de grado 3.

Nº Estación	Nombre	Altitud s.n.m. (m)	Distancia recorrida (km)	P.A.O. (mm)	P.E.O. (mm)
1	SAN JOSÉ	858	26.9	1981.2	1814.7
2	IRUYA	2730	78.6	309.2	303.9
3	HIGUERA	1950	71.1	328.2	326.2
4	SAN ANTONIO	1400	50.5	590.3	564.5
5	SAN ISIDRO	3000	82.8	626	611.8
6	NAZARENO	3050	98.1	784.4	771.8
7	PALTORCO	3800	110.3	556.1	546.9
8	TUC TUCA	3950	118.3	478.7	475.9
9	POSCAYA	3210	104.2	537.9	537.5
10	EL MOLINO	2600	88.2	414	406.5

▲ Tabla 2: Precipitación anual y estival observadas

$$P.A.E. = -1.29653E-7 X^3 + 0.001141 X^2 - 3.07027 X + 2923.803$$

La variable independiente X es a su vez una función de la altura del terreno (Z) y de la fracción porcentual de camino recorrido (F) desde el borde este de la cuenca, tal como se expuso en la sección 2.2. La función empírica de mejor ajuste hallada fue la siguiente:

$$X = Z [1 - \exp(-0.04425 F)]$$

El porcentaje de varianza explicado por dicho polinomio es de 98.3%.

Para la determinación de la precipitación estival media (P.E.E.) se siguió el criterio expuesto en la sección 2.2. que la explica en función de la precipitación anual media y la fracción porcentual de camino recorrido. La función de mejor ajuste fue la siguiente:

$$P.E.E. = P.A.E. * [(F + 0.5)/(F + 1.25)]^2$$

Los valores de precipitación anual y estival estimados se muestran en la Tabla 3.

Nº Estación	Nombre	Altitud s.n.m. (m)	Distancia recorrida (km.)	P.A.E. (mm)	P.E.E. (mm)
1	SANJOSE	858	26.9	1991	1852
2	IRUYA	2730	78.6	415	404
3	HIGUERA	1950	71.1	347	337
4	SAN ANTONIO	1400	50.5	652	626
5	SAN ISIDRO	3000	82.8	537	524
6	NAZARENO	3050	98.1	565	553
7	PALTORCO	3800	110.3	580	569
8	TUC TUCA	3950	118.3	472	464
9	POSCAYA	3210	104.2	557	546
10	EL MOLINO	2600	88.2	452	441
11	PABELLÓN	3000	106.1	477	468

▲ Tabla 3: Precipitación anual y estival estimadas

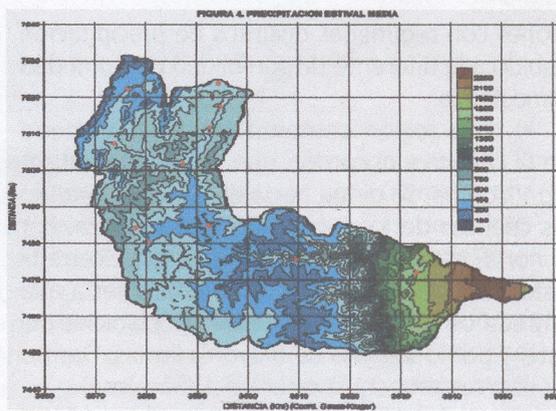
Se aplicaron luego estas expresiones a todos los nodos de un retículo de discretización sobre la cuenca, a fin de obtener los campos de precipitación anual y estival. El algoritmo de cálculo se programó en lenguaje Fortran.

En Las Figuras 3 y 4 muestran los campos climáticos hallados de la precipitación anual y estival respectivamente.

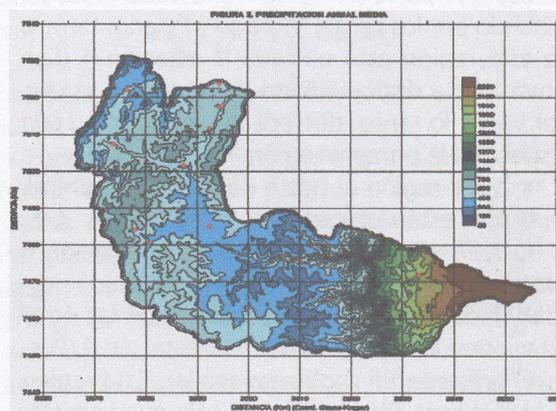
CONCLUSIONES

Se analizaron, por un lado, el grado de asociación estadística de las localidades con datos pluviométricos según los valores de sus series mensuales, y por el otro, las características topográficas de la cuenca y la ubicación de las estaciones. Se efectuó un análisis de correlación espacial de la precipitación acumulada mensual, entre localidades con datos pluviométricos. Pudo establecerse claramente la relación entre los montos de precipitación en las estaciones de medición con la ubicación de las mismas dentro de la cuenca y los cordones montañosos interiores a esta. Se ha comprobado la existencia de tres zonas con regímenes distintos de precipitación debido a la diferente disponibilidad de humedad atmosférica: cuenca baja, región central y región alta y seca al oeste de esta última. Las tres zonas responden a un único patrón anual de lluvias, con una estación húmeda de octubre a abril y una estación seca el resto del año debido al régimen monzónico prevaleciente en la región.

Se ha propuesto un modelo de distribución espacial de la precipitación que tiene en cuenta la topografía de la cuenca y la forma en que el aire húmedo ingresa a la misma. Se ha hallado una función polinómica de tercer grado que relaciona la precipitación anual con una variable explicativa que es a su vez una función de la altura del terreno (Z) y de la fracción porcentual de camino recorrido (F) desde el borde este de la cuenca, por donde penetra el aire cálido y húmedo. La función empírica hallada explica un porcentaje de varianza del 98.3%, si bien es necesario notar que el ajuste se realizó con solo 11 estaciones de medición. Se ha hallado así-



► Figura 4. Precipitación estival media. Escala en mm.



► Figura 3. Precipitación anual media. Escala en mm.

mismo una relación empírica entre la precipitación anual media, por un lado, y la precipitación estival media y la fracción porcentual de camino recorrido, por el otro.

Las funciones empíricas halladas, tanto para la precipitación anual como estival, tienen buenos ajustes. Ello sugiere que las variables explicativas elegidas, a saber, la altitud y la distancia a la fuente de humedad atmosférica de cada localidad, son las dos componentes más importantes en la determinación de la precipitación.

Mediante las funciones regresivas halladas se han generado mapas de precipitación media anual y estival, los cuales reflejan localmente con alto grado de detalle la fuerte influencia de la topografía y de la disponibilidad de humedad atmosférica en los distintos sectores de la cuenca, disponibilidad que depende del camino recorrido por las masas de aire cálido y húmedo desde su entrada en el borde este. La fuerte variación local está de acuerdo con lo hallado por otros autores en cuencas de Norteamérica (Peck y Brown 1962; Hibbert 1977; Barry 1981; Daly et al 1994).

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el CONICET y la Universidad de Buenos Aires mediante subsidio UBACYT G813.

BIBLIOGRAFIA

- Barrera D.F., 1988; Análisis climático-estadístico de las estructuras temporales y espaciales de la precipitación diaria en meso-escala. Aplicación al filtrado y corrección de errores de observación". Tesis doctoral de la Universidad de Buenos Aires. Publicación electrónica: http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd1-282/cgi-bin/library.cgi?d&c=tesis&d=Tesis_2128_Barrera
- Barrera D.F. y A.B. Basualdo, 1997: Aplicación de un modelo de correlación espacial del campo de precipitación de la Provincia de Buenos Aires al diseño de redes pluviométricas. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17, 1, 31-36.
- Barrera D.F. 1999. Estudio climatológico del régimen de precipitaciones. Capítulo 4.7 en: Programa de manejo integrado de la Cuenca del Río Iruya. Comisión Regional del Río Bermejo, República Argentina, pág.16-19.
- Barry R.G. 1981. *Mountain Weather and Climate*. Methuen and Co., Ltd., 313 pp.
- Basistha A., Arya, D.S. y Goel N.K. 2008. Spatial Distribution of Rainfall in Indian Himalayas – A Case Study of Uttarakhand Region. *Water Resour Manage*, 22:1325–1346. DOI 10.1007/s11269-007-9228-2
- Berberly H. y Collini E. 1999. Springtime precipitation and water vapor flux over southeastern South America. *Mon Wea Rev.*
- Bianchi A.R. y Yáñez C.E. 1992. Las precipitaciones en el noroeste argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, PROSIMA - NOA, Salta, Argentina.
- COREBE 1999. Programa de manejo integrado de la cuenca del río Iruya. Comisión Regional del Río Bermejo. Silvia Rafaelli y Fernando Pérez Ayala, editores.
- Daly C., Neilson R. y Phillips D. 1994. A statistical-topographical model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *J. Appl. Meteorol.*, 33: 140-158.
- Dhar O.N., Bhattacharya B.K. 1976. Variation of rainfall with elevation in the Himalayas – a pilot study. *Indian J Power River Val Dev XXVI*, 6:179–185
- Diodato N. 2005. The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *Int J Climatol* 25:351–363
- Dirks K.N., Hay J.E., Stow C.D. y Harris D. 1998. High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island, Part II: interpolation of rainfall data. *J. Hydrol.*, 208(3–4):187–193
- Ensor L.A. y Robeson S.M. 2008. Statistical Characteristics of Daily Precipitation: Comparisons of Gridded and Point Datasets. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 47: 2468–2476.
- González M. Y Barros V. 1998. The relation between tropical convection in South America and the end of the dry period in subtropical Argentina. *Int. J. Climatol.*, 18: 1669–1685.
- Gyalistras D 2003. Development and validation of a high resolution monthly gridded temperature and precipitation data set for Switzerland (1951–2000). *Clim Res* 25:55–83.
- Hibbert A.R. 1977. Distribution of precipitation in rugged terrain in central Arizona. *Hydrol. Water Resour. Ariz. Southwest*, 7: 163-173.
- Higuchi K., Ageta Y., Yasunari T. y Inoue J. 1982. Characteristics of precipitation during the monsoon season in high-mountain areas of Nepal Himalaya. *Hydrological Aspects of Alpine and High Mountain areas*, IAHS Publication No 138, 21–30.
- Hoffmann, J.A.J. 1971. La distribución geográfica de las precipitaciones en el noroeste argentino. *Meteorológica*, 2: 230-343.
- Kansakar S.R., Hannah D.M., Gerrard J. y Rees G. 2004. Spatial pattern in the precipitation regime of Nepal. *Int J Climatol* 24:1645–1659
- Legates, D.R. 1991. An evaluation of procedures to estimate monthly precipitation probabilities. *Journal of Hydrology*, 122 (1-4): 129-140
- Liebmann B. y Marengo J. 2001. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, 14: 4308-4318
- Marengo, J., Soares, W., Saulo C. y Nicolini M. 2004. Climatology of Low-Level Jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses. *J. of Climate*, 17(12): 2261-2280.
- Michaud, J.D., Auvin, B.A. y Penalba, O.C. 1995. Spatial and elevational variations of summer rainfall in the southwestern United States. *J. of Appl. Meteorol.* 34(12): 2689-2703.
- Minetti J. L., Vargas W.M., Poblete A.G., Acuña L.R. y Casagrande G. 2003. Nonlinear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera*, 16: 119-135.
- Minetti, J.L. 1999. Atlas Climatológico del Noroeste Argentino. Laboratorio Climatológico Sudamericano. Fundación Caldenius Sede NOAA y CONICET. S.M. de Tucumán.
- Nicolini, M. y Saulo A.C. 2006. Modeled Chaco low-level jets and related precipitation patterns during the 1997–1998 warm season. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 1: 1–15, DOI 10.1007/s00703-006-0186-7.
- Nogués-Paegle, J. y Mo K.C. 1997. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Mon. Wea. Rev.*, 125: 279-291.
- Organización Meteorológica Mundial 1994. "Guía de prácticas hidrológicas". Publicación OMM No 168.
- Paegle, J. 1998. A comparative review of South American low level jets. *Meteorologica*, 3: 73-82.
- Peck, E.L. y Brown, M.J. 1962. An approach to the development of isohyetal maps for mountainous areas. *Journal of Geophysical Research*, 67(2): 681-694.
- Rafaelli, S. y Moyano, C. 2002. Estudio hidrometeorológico regional. Actas de las Jornadas de Estudio sobre el "Análisis de riesgos hidrogeológicos y medidas de prevención de los riesgos naturales en América Latina". Buenos Aires, 26 al 2 de febrero de 2002.
- Rivera J.A., Herrera N., Gulizia C.N., Montroull N.B., Spennemann P. 2009. Identificación del comienzo de la estación lluviosa en la región subtropical de Argentina. Actas de la XXIV Reunión Científica de la AAGG, 1: 61-67. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires. ISBN 978-987-25291-1-6
- Saulo, C., Nicolini M. y Chou S.Ch. 2000. Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-1998 spring –summer season. *Climate Dynamics*, 16: 867-881.
- Salio, P. V., Nicolini M. y Saulo C. 2002. Chaco low level jet characterization during the austral summer season by ERA reanalysis. *Journal of Geophysical Research- Atmospheres*, 107: D24 10.1019/2001 JD001315.
- Salio, P., Nicolini, M. y Zipser E. J. 2007. Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and their relationship with the South American Low Level Jet. *Mon. Wea. Rev.* 135(4): 1290-1309.
- Schermerhorn, V.P. 1967. Relations between topography and annual precipitation in western Oregon and Washington. *Water Resour. Res.*, 3: 707-711.
- Seluchi, M., y J. Marengo, J. 2000. Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America: Climatic aspects and extreme events. *Int. J. Climatol*, 20: 1167-1119.
- Shearman R.J. y Salter P.M. 1975. An objective rainfall interpolation and mapping technique. *Hydrol. Sc. Bull.* 20(3): 353-363.
- Singh P., Ramasastri K.S., Kumar N. 1995. Topographical influence on precipitation distribution in different ranges of Westerns Himalayas. *Nord Hydrol* 26:259–284.
- Universidad Nacional del Litoral 1998. Cartografía digital de la Cuenca del río Iruya. Convenio COREBE-FICH.
- Upadhyay B. 1982. On some hydro meteorological aspects of precipitation in Himalayas. Proc. International Symposium on Hydrological Aspects of Mountainous Watersheds, School of Hydrology, University of Roorkee, Manglik Prakashan, Saharanpur, U.P., 1: 58-65
- Velasco I., y Fritsch J.M., Mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.* 92: 9591-9613.
- Zipser E. J., Salio P. y Nicolini M. 2004. CLIVAR Exchanges, Special Issue Featuring SALLJEX, ISSN:1026-0471, "Mesoscale convective systems activity during SALLJEX and the relationship with SALLJ", 9 1), 14 y 17 a 19.

VARIABILIDAD INTERANUAL Y ESTACIONAL DEL REGIMEN DE HELADAS EN EL VALLE DE TULUM -SAN JUAN-. PERIODO 1960-2010

Arnobio Germán Poblete

Instituto de Geografía Aplicada. Universidad Nacional de San Juan -

Email: agpoblete@gmail.com

Daniela Adelina Iranzo

Instituto de Geografía Aplicada. Universidad Nacional de San Juan -

Email: danielaadelina@gmail.com

Fecha de Entrega: 25-11-2011 / Fecha de Aprobación: 02-12-2011

RESUMEN

En este trabajo se pretende realizar un estudio sobre el régimen de variabilidad estacional e interanual de las heladas en el Valle de Tulum, dada la importancia que reviste para la planificación agrícola en el mediano y largo plazo. No se conocen otros trabajos de esta índole en San Juan.

El estudio se realiza en el escenario de las posibles implicancias del cambio/variabilidad del clima global y/o regional que impactan en los agricultores, periodismo y población en general manifestándose en comentarios que muchas veces son subjetivos, tendenciosos y/o tergiversados, por lo que se pretende salvar estas falencias mediante el aporte de conclusiones sobre la variabilidad temporal de las heladas en el Valle de Tulum, obtenidas de datos y metodologías objetivas.

Se estimaron los estadísticos más relevantes del régimen de heladas, su probabilidad de ocurrencia y casos extremos.

El régimen de variabilidad temporal obtenido indica que solo algunos de los parámetros analizados tienen una tendencia y correlación significativas.

ABSTRACT

This paper intends to perform a study on the regime of seasonal and interannual variability of frost in the Tulum Valley, given the importance for agricultural planning in the medium and long term. No other known work of this kind in San Juan.

The study was performed on the stage of the possible implications of change / global climate variability and / or regional impact on farmers, journalists and the general population manifested in comments are often subjective, biased and / or distorted, so which aims to overcome these shortcomings by providing conclusions about the temporal variability of frost in the Tulum Valley, obtained objective data and methodologies.

We estimated the most relevant statistical system frost its probability of occurrence and the extreme cases.

The temporal variability regime obtained indicates that only some of the parameters analyzed and correlated with a significant trend.

INTRODUCCION

Dada la importancia que reviste para la agricultura conocer los agentes climáticos que condicionan esta actividad, se pretende realizar un estudio sobre el régimen de la variabilidad estacional e interanual de las heladas en el Valle de Tulum, puesto que su análisis descriptivo ya fue realizado (Minetti, J., L. y Cornejo, R., N, 1992) y (Poblete, A.G., 1999).

Dicho enfoque se realiza en el escenario de las posibles implicancias del cambio/variabilidad del clima global y/o regional que impactan en los agricultores, periodismo y población en general manifestándose en comentarios que muchas veces son erróneos y/o tergiversados.

De ahí que se pretende salvar las falencias apuntadas mediante el aporte de conclusiones sobre la variabilidad temporal de las heladas en el Valle de Tulum, obtenidas de datos y metodologías objetivas.

La helada meteorológica se manifiesta cuando el termómetro de la casilla tipo B a 1,5 m. del suelo, registra temperaturas menores o iguales a 0 °C. Las heladas agronómicas se producen cuando la temperatura de la superficie del suelo

es menor o igual a 0 °C, y se la detecta con un termómetro colocado a 0,05 m. sobre el mismo. Teniendo en cuenta su génesis, se pueden clasificar en: advectivas, de radiación y mixtas. Responden a factores macro, meso y micrometeorológicos. Para mayores detalles consultar: (Burgos, J. J., 1963), (Capitanelli, R. 1971), (Damarío, E., A. y Pascale, A., J., 1994), (Minetti J., L. y Riveros, N., 1988) y (<http://www.frutic.org/sac/alertahelada.php>).

Salvo los citados al principio, no se conocen otros trabajos sobre el tema en San Juan.

DATOS Y METODOS

Los datos utilizados (periodo 1968-2010) en este trabajo fueron aportados por la estación agro-meteorológica de INTA, la cual se encuentra en la localidad de Pocito (31,57° S y 68,42° W, a una altura de 618,23 snm). Ubicada aproximadamente a 14 Km. al sur de la ciudad de San Juan, lo que garantiza la independencia del posible "efecto urbano", (ver Figura N° 1). Se hace referencia al año 2011 por haber sido extremo, pero no está incluido en el análisis estadístico realizado. Sin embargo, se hace alusión

a dicho año dadas las características extremas de su invierno. Los citados fueron cotejados con los proporcionados por las estaciones del SMN en el aeropuerto Las Chacritas (periodo 1960-2011), Observatorio de Mendoza y EEA- INTA San Martín de San Juan.

Se controlaron 43 años de registros diarios de las estaciones mencionadas, por medio de la aplicación de tests de homogeneidad absoluta y relativa, (WMO, 1966), (Poblete A. G., 2006), (Minetti J.L., 1991).

La metodología empleada se basa en el análisis estadístico descriptivo y temporal para valuar las propiedades de los parámetros y su variabilidad estacional e interanual.

En una serie temporal se entiende por "tendencia" a la variación en el largo plazo de la variable considerada. Las lineales pueden variar, dependiendo considerablemente del período en que se computan, (WMO, 1966). Para valorar si la misma es significativa estadísticamente se aplica el test de Sperman, cuya expresión matemática es:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N^3 - N} \quad 1) \quad r_s \approx N \left(0, \frac{1}{n-1} \right)$$

con: di = la diferencia entre rangos.

Se construye el estadístico:

$$2) \quad t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}}$$

Se extrae tT de la tabla "t" de Student con v = N-2 grados de libertad.

Sí no hay tendencia significativa al %, en los datos.

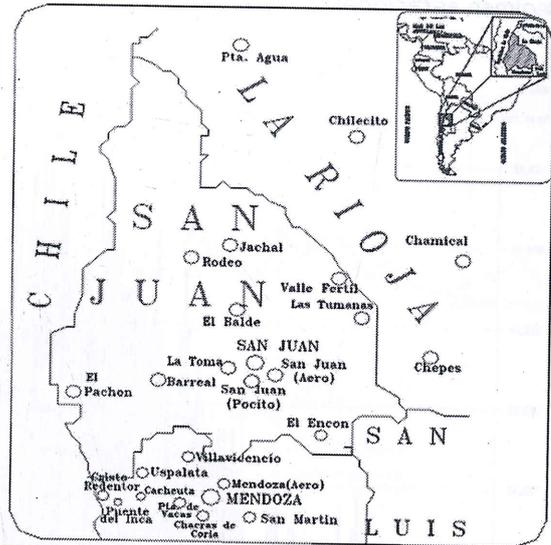
La significación de los otros parámetros se calcula mediante la aplicación de los test usuales de la estadística descriptiva, (Poblete, A. G., 2002), (Smillie, K.W., 1976):

RESULTADOS Y DISCUSION

Estadísticos descriptivos

	N	Media	Mediana	Minima	Maximo	Prop 10%	Prop 90%	1er cuartil	3er cuartil	Std.Dev.(en dias)
FECHA1ra.	48	29-may	29-may	23-abr	25-jun	20-may	8-jun	3-may	19-jun	14,94456
FECHA-ult	48	24-ago	22-ago	27-jul	6-oct	12-ago	3-sep	8-ago	14-sep	14,79923
DIASCHEL	48	28,8958	29,5000	6,0000	53,0000	20,5000	38,0000	15,0000	47,0000	11,81099
TIEMPO	48	24,5000	24,5000	1,0000	48,0000	12,5000	36,5000	5,0000	44,0000	14,00000
TI	48	-1,6229	-1,6000	-2,5000	-0,7000	-1,9500	-1,3000	-2,1000	-1,0000	0,42137
TI-MIN-ABS	48	-4,2917	-4,6500	-6,7000	-1,1000	-5,2500	-3,5500	-6,0000	-2,0000	1,36623

▲ Cuadro 1: Estadísticos descriptivos de las fechas de inicio y finalización del periodo de heladas, numero de días con heladas por año y valores de las temperaturas medias y extremas ocurridas, donde: FECHA1ra = la fecha de la primer helada (inicio). FECHA-ult= la fecha de la ultima helada (finalización); DIASCHEL=números de días con heladas; Tiempo= unidades temporales; TI= temperatura media del periodo con heladas considerado y TI-MIN-ABS= temperatura mínima absoluta de dicho periodo.



▲ Figura 1: Ubicación geográfica de las estaciones de medición mencionadas

En el cuadro 1 se pueden observar los estadísticos más relevantes en los 48 años de registros: la fecha media de ocurrencia de la primer helada es el 29 de Mayo (en el 2011 fue el 14 de Junio) que coincide con la mediana, lo que indicaría que las mismas tienen una distribución normal. La más temprana en el periodo, se registró el 23 de Abril de 1971, mientras que la más tardía un 25 de Junio de 1994.

La fecha media de la última helada es el 25 de Agosto, sin embargo, su mediana es el 22 del mismo mes (que coincide con la registrada en 2011), mientras que el 27 de julio, es la fecha de la última helada más temprana y el 6 de Octubre la más tardía.

El número de días con heladas tiene un promedio y mediana de 29, siendo 6 su cantidad mínima (año 2006), y su máximo 53 (año 1983). En 2011 se registraron 34 días en Pocito y 38 en Las Chacritas.

La temperatura media y mediana de las heladas en el periodo considerado, es de -1,62°C siendo su máximo -0,7°C y su mínimo -2,5°C,

mientras que la mínima absoluta tiene una media de -4,3°C y una mediana de -4,6°C, siendo el menor valor registrado de -6,7°C (ocurrida el 20 de Julio de 1975, la que fue igualada en Pocito y superada en Las Chacritas por los -8°C registrados el 3 y 4 de Julio de 2011).

Régimen estacional

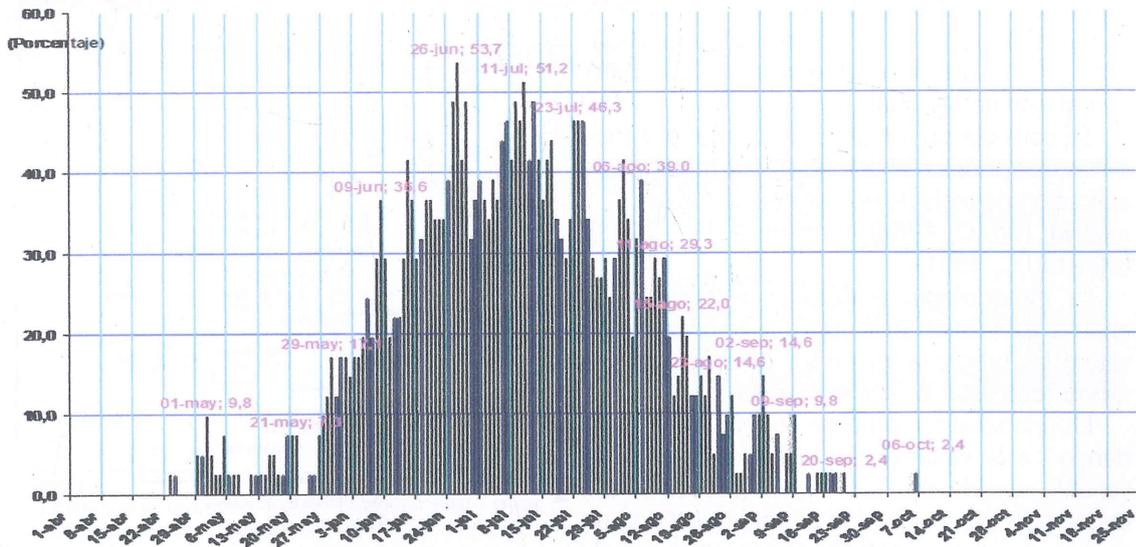


Figura 2: Frecuencias relativas tomadas como probabilidad de ocurrencia de heladas en %.

La figura 2 muestra el periodo con heladas y la respectiva frecuencia relativa, utilizada en este trabajo como probabilidad de ocurrencia. Se puede notar que recién el 29 de Mayo la misma se acerca al 20%. Antes de esa fecha, son menores que el 10%. Las más altas ocurren en el intervalo que va desde el 26 de Junio al 11 de Julio con más del 50%. A partir del mismo, la probabilidad decrece al 20% en el entorno del 20 de Agosto, quedando las menores que el 10% a partir del 9 de Septiembre. Hay casos puntuales de heladas extemporáneas en Abril y Octubre como se analizará más adelante.

Régimen interanual:

En la figura 3 se muestra la variabilidad entre años de la temperatura media del periodo con heladas y la correspondiente temperatura

mínima absoluta. Ambas tienen una tendencia al crecimiento, sin embargo, solo en el segundo caso es significativa

($r_s = 0,298$ -ver cuadro 2-), lo que indica que en el periodo estudiado las heladas fueron perdiendo intensidad.

En la figura Nº 4 se puede observar la variabilidad interanual de las fechas de inicio y finalización de las heladas. Las primeras tienen una tendencia creciente pero no significativa (ver cuadro 2, $r_s = 0,219$), es decir, que "se atrasan", pero no significativamente. Mientras que la fecha de la última helada prácticamente no tiene tendencia (ver cuadro 2, $r_s = - 0,007$).

La única correlación significativa positiva verificada es entre la fecha de finalización del periodo con temperaturas bajo cero con el numero de días con heladas (ver cuadro 2,

$r = 0,323$), lo que indica que a mayor numero de días la última fecha se hace mas tardía.

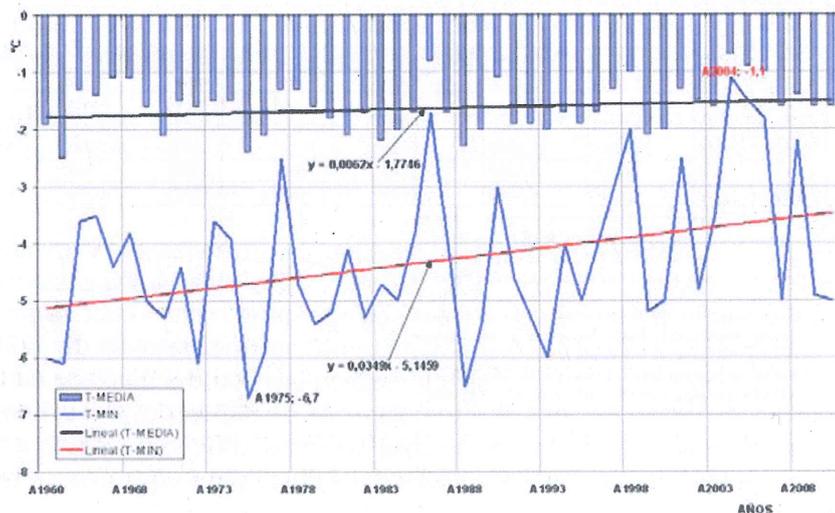


Figura 3: Variabilidad interanual de la temperatura media y mínima absoluta del periodo con heladas registradas en el año correspondiente.

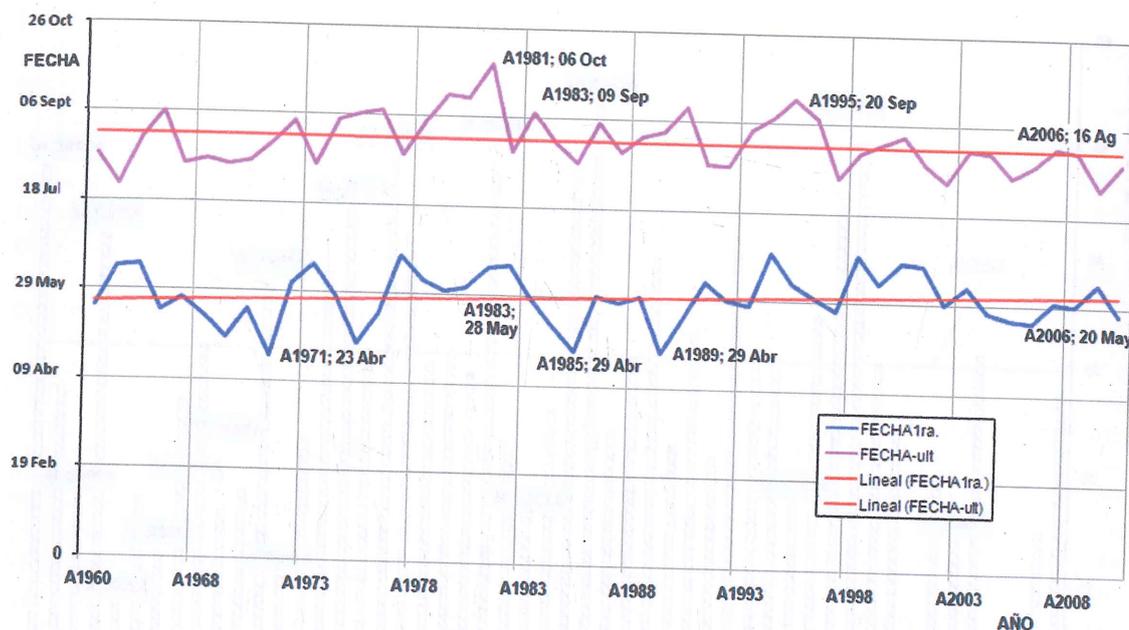


Figura 4: Variabilidad interanual de las fechas de inicio (FECHA1ra) y finalización (FECHA-ult) del periodo con heladas.

	FECHA1ra	FECHA-ult	DIASHEL	Tiempo	TI-MED	TI-MIN-ABS
FECHA1ra	1,000000	0,095677	-0,193126	0,219428	-0,002863	0,090837
FECHA-ult	0,095677	1,000000	0,323900	-0,007766	-0,239152	-0,134994
DIASHEL	-0,193126	0,323900	1,000000	-0,101633	-0,579455	-0,598340
Tiempo	0,219428	-0,007766	-0,101633	1,000000	0,159703	0,298745
TI-MED	-0,002863	-0,239152	-0,579455	0,159703	1,000000	0,792701
TI-MIN-ABS	0,090837	-0,134994	-0,598340	0,298745	0,792701	1,000000

Cuadro 2: Matriz de correlación de las variables en estudio incluido el tiempo (para evaluar mediante Spearman la tendencia). Donde: FECHA1ra = la fecha de la primera helada (inicio), FECHA-ult= la fecha de la última helada (finalización); DIASHEL=números de días con heladas; Tiempo= unidades temporales; TI-MED= temperatura media del periodo con heladas considerado y TI-MIN-ABS= temperatura mínima absoluta de dicho periodo. Los números en rojo muestran la significación estadística con un nivel del 5%.

En el cuadro 3 se puede observar que el intervalo medio entre la primera y última helada es de 87,6, con una desviación Standard de 20,16 días, correlacionado significativamente (ver cuadro 3, $r = 0,387$) con el número de días con heladas, de lo que se infiere que mientras más extenso es dicho periodo, mayor es la probabilidad de que se produzcan heladas. Su tendencia al decrecimiento no es significativa (ver cuadro 3, $r_s = -0,2$).

La temperatura media invernal, (representada en este caso por el promedio de las temperaturas medias de Junio, Julio y Agosto), esta asociada significativamente de manera inversa con el número de días con heladas (ver cuadro 3, $r = -0,613$), de lo que se colige que cuando el invierno es más frío el número de días con

heladas aumenta. A primera vista es obvio, sin embargo no en todos los casos puede suceder, ya que suelen haber inviernos muy fríos sin que necesariamente ocurran numerosas temperaturas bajo cero, existiendo la posibilidad de gran número de bajas temperaturas cercanas a 0°C, sin que necesariamente sean menores que dicho valor.

La figura 5 muestra la variabilidad interanual de la cantidad de días por temporada con heladas. Muestran una gran variabilidad puesto que oscilan entre 6 (2006), (Poblete et al, 2009) y 53 (1983), que se confirma con su desviación estándar ($\sigma = 12$ días, ver cuadro 1).

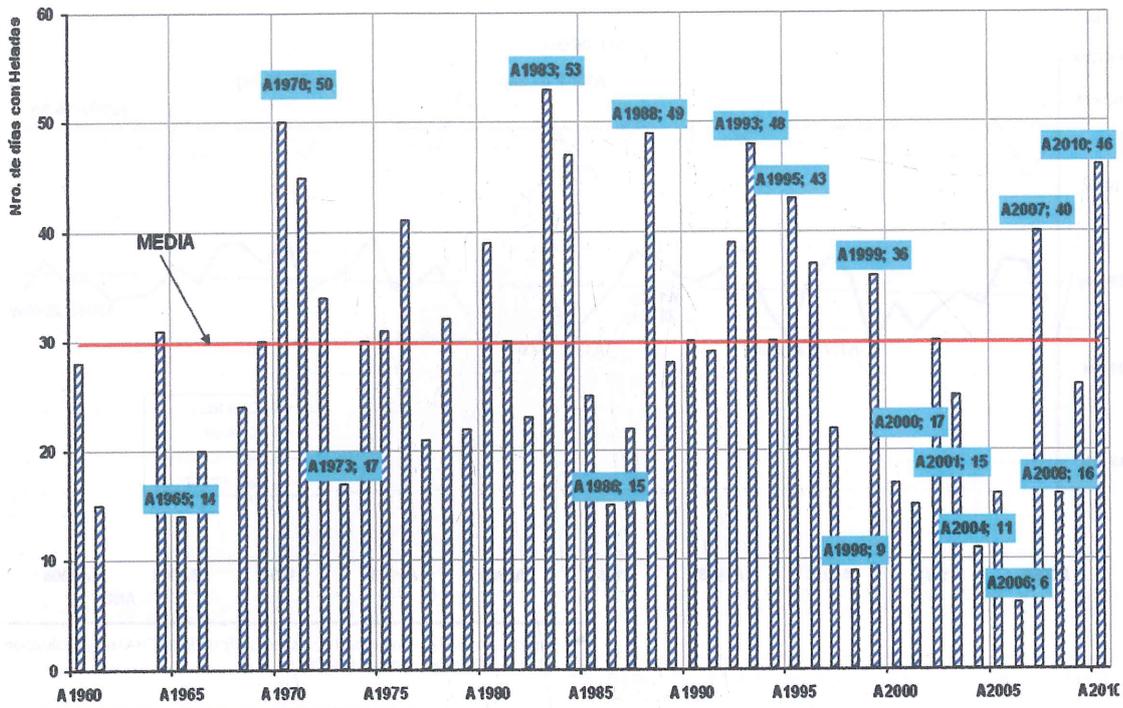
En la figura 6, se observa que el número de días con heladas tiene una tendencia negativa pero muy poco significativa (ver cuadro 2, $r_s = -0,101$).

	MEDIA	StdDev.	FECHA1ra	FECHA-ult	INT-DIAS	INTERVALO	SPEARMAN	J-JA
INTERVALO	87,5833	20,16193	0,681731	0,672938	0,387315	1,000000	-0,214036	-0,165223
J-JA	0,9729	0,85421	0,168290	0,055152	0,612913	-0,165223	0,165267	1,000000

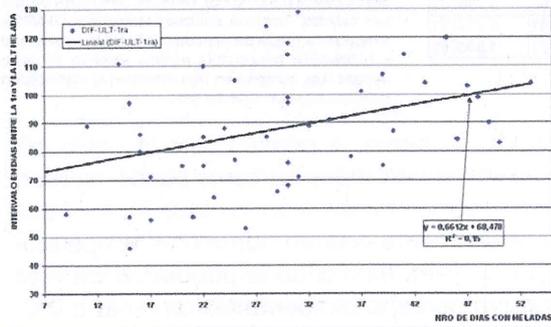
Cuadro 3: Estadísticos y matriz de correlación de las variables en estudio incluido el tiempo (para evaluar mediante Spearman la tendencia); SPEARMAN= unidades temporales, INTERVALO = periodo en días entre la 1ra y última helada, J-JA: media invernal. Los números en rojo muestran la significación estadística con un nivel del 5%.

La figura 7 muestra la variabilidad interanual del número de días con heladas y del intervalo entre la primera y última. Ambas tienen una tendencia al decrecimiento (ver cuadro 3, $r_s = -0,214$) no significativo. Además se puede notar un angostamiento del intervalo con un salto en

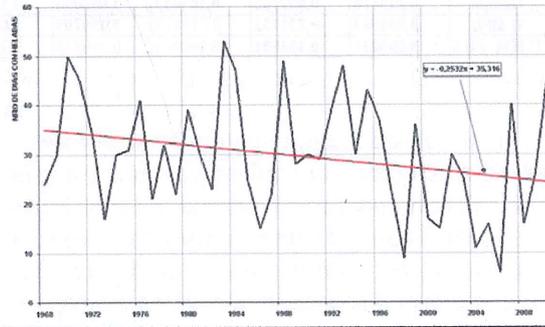
el año 1996 que marca el fin de 100 o más días con heladas, lo que se mantiene hasta la actualidad. Asimismo la estructura del decrecimiento de la tendencia observada en la figura 5, con lo mostrado en la 7, se infiere que tiende a decaer hasta el año 2006 y luego incrementarse hasta



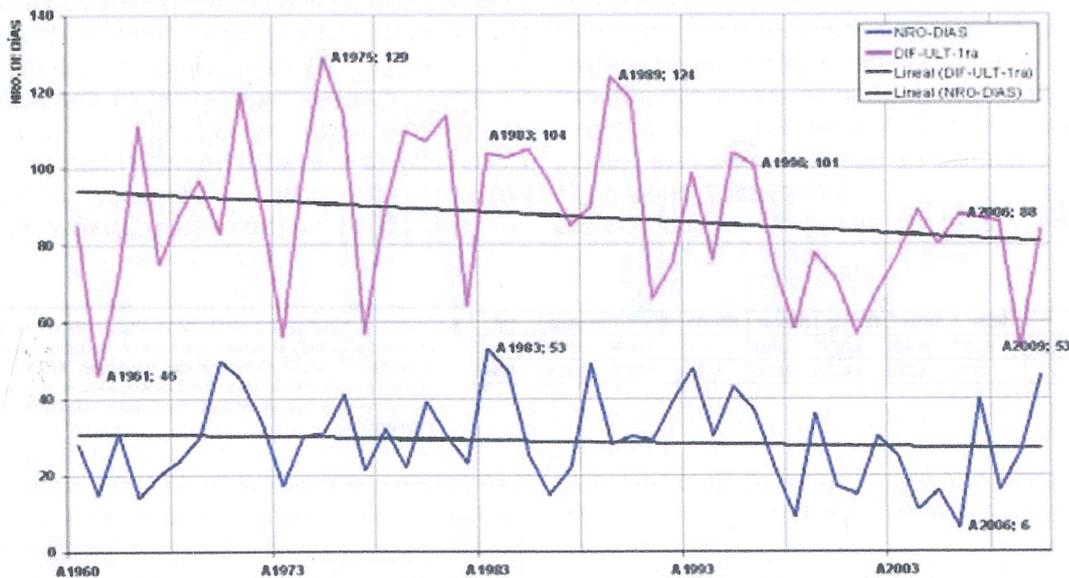
▲ Figura 5: Variabilidad interanual del número de días con heladas y su media (29 días).



▲ Figura 8: Regresión entre el número de días con heladas y el intervalo entre la primera y última helada (DIF-ULT-1ra).



▲ Figura 6: Variabilidad interanual del número de días con heladas y su tendencia teniendo en cuenta solo los años contiguos con datos.



▲ Figura 7: Variabilidad interanual del número de días con heladas y su tendencia contrastados con el intervalo en días entre la primera y última helada. Donde NRO-DIAS=número de días con heladas, DIF-ULT-1ra= intervalo en días entre la primera y última helada.

la actualidad (como ya se dijo, en el 2011 se registraron 34 en Pocito y 38 en Las Chacritas o sea que superaron la media de 29 días).

En la figura 8 se observa la regresión entre la cantidad de días con heladas con el intervalo entre la primera y última. Se puede apreciar que tienen una relación significativa, con un coeficiente de correlación $r = 0,387$, lo que indica que a mayor intervalo mayor número de días con temperaturas menores que 0°C .

CONCLUSIONES

Los estadísticos más relevantes del régimen de heladas en el Valle de Tulum son: la fecha media de ocurrencia de la primera helada es el 29 de Mayo, y la de la última el 25 de Agosto. El promedio de días con heladas es de 29 días oscilando entre 6 y 53.

La temperatura media de las heladas, en el periodo considerado, es de $-1,62^{\circ}\text{C}$ fluctuando entre $-2,5^{\circ}\text{C}$ y $-0,7^{\circ}\text{C}$. A su vez la temperatura mínima absoluta tiene una media de $-4,3^{\circ}\text{C}$ siendo el valor mínimo alcanzado de $-6,7^{\circ}\text{C}$.

La probabilidad de ocurrencia de heladas tiene los siguientes valores: 29 de Mayo, cercana al 20%. Antes de esa fecha, son menores que el 10%. Las más altas ocurren en el intervalo que va desde el 26 de Junio al 11 de Julio con más del 50%. Luego la probabilidad decrece al 20% en el entorno del 20 de Agosto, quedando las menores que el 10% a partir del 9 de Septiembre. Hay casos puntuales de heladas extemporáneas en Abril y Octubre.

Respecto del régimen de variabilidad interanual se concluye que:

La temperatura media del periodo con heladas tiene una tendencia al crecimiento no significativa, en tanto que la temperatura mínima absoluta tiene un ascenso significativo con un nivel de confianza del 5%; lo que indicaría que en el periodo estudiado las heladas fueron perdiendo intensidad.

La variabilidad interanual de las fechas de inicio tienen una tendencia creciente pero no significativa, es decir, que las mismas "se atrasan". Mientras que la fecha de la última helada prác-

ticamente no tiene tendencia. Por otra parte, la única correlación significativa positiva se verifica entre la fecha de finalización del periodo con temperaturas bajo cero con el número de días con heladas, de lo que se infiere que a mayor número de días con heladas la última fecha se hace más tardía.

La duración media entre la primera y última helada es de 87,6 días, estando correlacionada significativamente con el número de días con heladas, de lo que se desprende que mientras más extenso es el periodo con temperaturas menores que cero, mayor es la probabilidad de que se produzcan las mismas. Su tendencia al decrecimiento no es significativa. Presenta un angostamiento del intervalo con un salto en el año 1996 que marca el fin de 100 o más días con heladas, lo que se mantiene hasta la actualidad.

La temperatura media del invierno esta asociada con un nivel de significación del 5% de manera inversa con el número de días con heladas, lo que indica que cuando el invierno es más frío el número de días con heladas aumenta.

La variabilidad interanual de la cantidad de días con heladas tiene una tendencia negativa muy poco significativa y tiende a decrecer hasta el año 2006 y luego a incrementarse hasta la actualidad. Presentan una relación significativa con el intervalo entre la primera y última helada.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de San Juan y la ANCYT, PICTO- UNSJ-2009-0150-BID, por sus aportes económicos en el desarrollo de este trabajo.

Variabilidad Espacial y Temporal del Clima de San Juan- Argentina- y su posible relación con el Cambio Climático Global. Cod. F916. Res. N° 37/11- Cs. CICITCA-UNSJ.

Proyecto del CONEX Consejo de Extensión: Vigilancia Sistemática del Tiempo y Clima de San Juan y Monitoreo del Cambio Climático Global, con Transferencia de Datos e Información en Tiempo Real en los Medios de Comunicación, Ministerio de Educación y Sociedad en General.

BIBLIOGRAFIA

- Burgos, J., 1963 Las heladas en la Argentina, INTA, Bs. As.:388
 Capitanelli, R. 1971. "Climatología de Mendoza". Mendoza, U.N. DE CUYO.
 Damario, E., A., Pascale, A., J., 1994 Validación del método de estimación de fechas medias de primeras y últimas heladas, 1994, VI, Rev. Arg. de Agromet., AADA, Córdoba.: 53 - 54
 Minetti, J., L., Cornejo, R., N., 1992 Heladas-régimen de inicio y finalización en la localidad de Pocito-San Juan, Inf. Tec. INTA-CONICET, San Juan.
 Minetti, J., L., 1991 Estudio de las singularidades climáticas en series de temperaturas del NOA. Tesis doctoral, FCEYN-DEPTO. Met. UBA., Bs. As. :117
 Minetti, J., L., Riveros, N., 1988 Régimen térmico de San Juan, Informe

Técnico CIRSJA-CONICET, San Juan.

Poblete, A.G. 1999. "Aspectos Estadísticos del Régimen de Heladas Agronómicas en el Valle de Tulum". Actas del Congreso "Ambiental 99". Prodea, San Juan. ISSN: 1515-5943. : 35-45.-

Poblete, A.G. (2002). Estadística Multivariante para Geógrafos. Libro Electrónico. Dpto. de Geografía FFHA-UNSJ.

Smillie, K.W., 1976: An Introduction of Regression and Correlation. Imp. Acad.Inc.Ltd. Londres.

World Meteorological Organization (Wmo). 1966. Climatic Change. Technical Note Nro. 79. Geneve. :264

CAMBIOS INTERDECADEALES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL OCEANO PACÍFICO Y SU INCIDENCIA EN LA TENDENCIA ACTUAL AL ENFRIAMIENTO DE SUD-AMERICA -HELADAS EN LA ZONA OLIVICOLA DE ARGENTINA-

Trabajo realizado en el Laboratorio Climatológico Sudamericano (LCS)

Juan L. Minetti

Director del LCS, Inv. del CONICET - Prof. en el Dpto. de Geo. UNT.

Arnobio G. Poblete

Investigador del Instituto de Geografía. Apl. de la UNSJ - Prof. en el Dpto. de Geo. UNSJ. Email: agpoblete@gmail.com

Luis R. Acuña

INTA EEA Santiago del Estero.

Fecha de Entrega: 05-12-2011 / Fecha de Aprobación: 13-12-2011

RESÚMEN

En las últimas décadas se ha observado un intenso crecimiento de la agricultura del olivo en el Noroeste Argentino (NOA) y Cuyo favorecido por el estímulo del Estado. Este desarrollo no ha tenido un soporte de investigación agroclimática previa, más aún cuando las nuevas variedades de olivo implantadas provenían de un clima moderado como el Mediterráneo. Intensos episodios de heladas ocurridas después del año 2003 cuando la PDO (Oscilación decadal del O.Pacífico) ingresara a su fase negativa (aguas superficiales frecuentemente frías) produjeron daños millonarios al sector con pérdidas de plantas que producirán otras con los años hasta que nuevas plantaciones reemplacen las muertas. Este nuevo ciclo frío continental repite los daños ocasionados en la fase anterior 1950-75 sobre el NOA pero aquella vez en el sector azucarero. Las soluciones implementadas en ese entonces venían de la mano de la tecnología y legislación adecuada, y siempre con un importante protagonismo del Estado. Eso último debería ser la respuesta más apropiada para resolver el problema presente.

Palabras claves: Olivo, heladas, PDO

ABSTRACT

In the last decades an intense growth of the agriculture of the olive tree in Argentine Norwest (NOA) AND Cuyo regions has been observed favoured by the stimulus of the State. This development has not had a support of previous agro climatic investigation, still more when the new implanted varieties of olive tree came from a moderate climate like the Mediterranean. Intense episodes of frosts happened after year 2003 when the PDO (decadal Oscillation of the O.Pacifico) entered to their negative phase (frequently cold superficial waters) produced millionaire damages to the sector with losses of plants that will produce others with the years until new plantations replace the deads. This new continental cold cycle repeats the damages caused in the previous phase 1950-75 on the NOA but that one time in the sugarcane sector. The solutions implemented in that then came from the hand of the technology and suitable legislation, and always with an important protagonism of the State. That last one would have to be the most appropriate answer to solve the present problem.

Key words: Olive tree, frosts, PDO

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas aprovechando el sistema de promoción impositivo, se ha desarrollado una intensa transformación agrícola en la zona árida del NO de Argentina y Cuyo, donde el olivo y otros cultivos tuvieron un rol preponderante. Hasta 1990 había implantadas unas 29.500 Has de este cultivo en las provincias de Mendoza, San Juan y Córdoba. Con el estímulo de los diferimientos impositivos éstas se incrementaron a 110.000 Has en el año 2005, de las cuáles unas 80.000 eran de alta densidad. Las 110.000 Ha de olivos tienen una producción media de 500.000 Tn de materia prima, de las cuáles unas 200.000 son destinadas a conserva y el resto para producir unas 45.000 Tn de aceite. Esto redundó en que Argentina se posicionara con la actividad como quinto productor mundial de aceituna de mesa y undécimo de aceite de oliva

(Lupjano, 2011).

El cultivo del olivo tiene algunas exigencias climáticas debidas a su origen: la zona mediterránea. Una de ellas, la moderación térmica, es esencial, aunque en esa región los fríos intensos del borde Norte del Mediterráneo pueden llegar a mayores intensidades, sin embargo, en el borde Sur este fenómeno se ve sensiblemente atenuado con valores cercanos a cero grados centígrados. Con esas condiciones, la difusión del cultivo debió apelar a la adaptación fitotécnica y manejo cultural en los casos más fríos. En Argentina la región de implantación es de naturaleza más continental y la combinación de efectos como el zonda o largos períodos cálidos de invierno ponen en actividad a la planta, corriendo importantes riesgos con los fríos más tardíos, particularmente cuando las plantas han producido emergencia de brotes nuevos o racimos florales.

La olivicultura ha sido la principal actividad agroindustrial desarrollada en Argentina de la mano de condiciones climáticas excepcionales en lo hídrico y térmico (Minetti y otros, 2008, y Minetti y otros, 2010, a y b).

Desde el año 2003 en adelante, una serie de eventos anómalos en precipitación y temperaturas se han desarrollado en el Sur y centro de Sudamérica produciendo cuantiosas pérdidas a privados y al Estado sin que éstas fueran debidamente analizadas. En efecto, la intensa sequía del año 2008 ha generado una pérdida de un tercio de la producción nacional de granos (30 millones de toneladas frente a lo usual de 90 millones de toneladas en la última década). Juntamente con esta pérdida en lo hídrico, una sucesión de fríos intensos afectó a la región. En el último quinquenio las frecuentes e intensas heladas en el Oeste de Argentina produjeron pérdidas cuantiosas en la producción olivícola de las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza y Córdoba. Heladas con mínimas absolutas de -6.7°C en Catamarca y -8°C en San Juan, por citar algunas, y aumento en la frecuencia de ocurrencia de estos eventos por año (de 16 a 22 casos que superan el promedio de 8-10). Estos datos dan la pauta para introducirse en el problema descripto.

En la última década, el análisis de los cambios interdecadales de las variables climáticas facilitaron la comprensión de algunos procesos agrícolas regionales. Unos de estos cambios interdecadales que afectan a la región están asociados a la PDO (Pacific Decadal Oscillation) (MacDonal y Case, 2005) y se observan con fluctuaciones lentas del orden de 50-60 años (Anderson, 1992), mientras que otros más largos han tenido que ver con procesos de "Salto Climático" (Minetti y otros, 1998). Durante la segunda mitad del siglo pasado una fase fría de la PDO ha estado relacionada con intensas heladas en la década de 1950 y mediados de 1970 generando enormes pérdidas en las producciones agrícolas de la zona tropical sudamericana (Minetti y otros, 1985; Rev. Bras. Garcafe, 2000).

Se pretende analizar si el cambio de clima iniciado alrededor del 2003 que afectó seriamente a la olivicultura argentina, coincide con el inicio de una fase fría de la PDO.

DATOS Y METODOS

Para realizar este trabajo se ha utilizado información anteriormente procesada sobre índices de sequías en el Sur de Sudamérica (Minetti y otros, 2010), los que fueron tratados con polinomios de grado superior para el análisis de tendencias y fluctuaciones de baja frecuencia. Estos índices de sequía también estuvieron aso-

ciados en el pasado con las condiciones térmicas invernales detectándose que las temperaturas mínimas medias de los meses de Julio-Agosto de S.M. de Tucumán están conectadas con los índices de sequías del año siguiente en Argentina. Las temperaturas mínimas medias de este período han sido correlacionadas en el pasado (Minetti y otros, 2011) con el SOI (Southern Oscillation Index) y PDO (Pacific Decadal Oscillation) estando en antifase y fase respectivamente. Estas asociaciones observadas en el siglo pasado y comienzos del actual, más las observaciones realizadas en el largo plazo de la PDO por MacDonald et al. (2005) y Anderson (1992) permiten ver un comportamiento lento de baja frecuencia en la temperatura superficial del O. Pacífico. Por medio de la Vigilancia Climática Operativa de este Laboratorio (LCS) se ha detectado un cambio de fase alrededor del año 2003, donde se ha pasado de una condición cálida a una fría. Esta última fase fría es la que se intenta conectar con el aumento de frecuencia de heladas en la región olivícola.

RESULTADOS

La figura 1 muestra a la región de estudio donde se afianzó la olivicultura en las últimas décadas. En ella se identifica a la estación meteorológica de S.M. de Tucumán que posee las series más longevas de temperatura (1889-2011). La figura 2 muestra la región de clima mediterráneo donde se difundía tradicionalmente el olivo. Las temperaturas mínimas absolutas en la flanco Norte del Mediterráneo oscilan entre

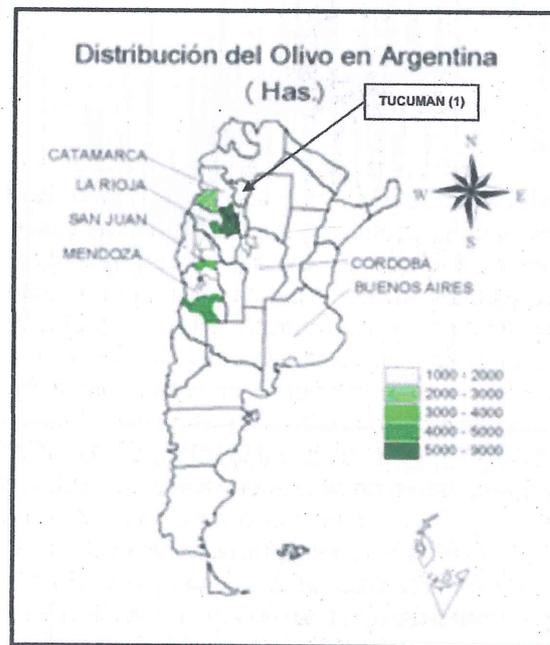
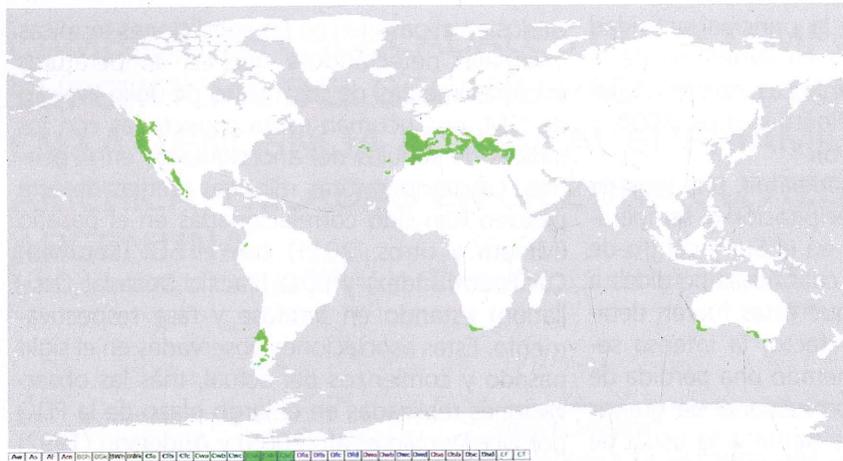


Figura 1: Región de Argentina donde se difunde la actividad olivícola. Se ubica en la misma a la estación meteorológica de S.M. de Tucumán como referencia (1). Se incluyen en el área olivícola las provincias de: Córdoba, Mendoza, San Juan, Catamarca y La Rioja.



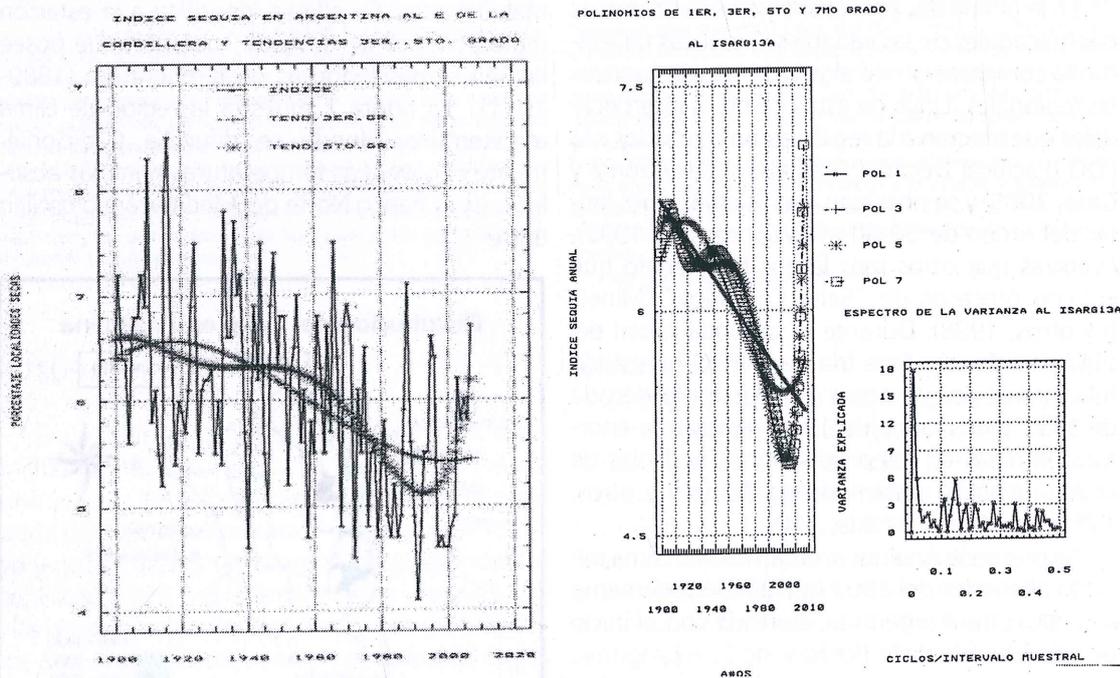
► Figura 2: Superficie donde se desarrolla tradicionalmente la olivicultura en el ámbito de clima mediterráneo de Köppen (Cs).

0 y -16.8°C, mientras que en el flanco Sur se encuentran entre 1 y -1°C. Esto muestra que el área de difusión de esta planta es bastante amplia con riesgos climáticos importantes.

La figura 3 (izq.) representa a la marcha temporal del índice de sequía elaborado por Minetti y otros (2010) con su tendencia y fluctuación de baja frecuencia más importante. La figura 3 (der.) presenta a los diversos polinomios desde la tendencia lineal hasta uno de 5to grado. Apli-

cados a la serie de índices anuales de sequía en Argentina. Inserto en esta figura se muestra un análisis espectral para revelar la importancia de una oscilación del orden de 50-60 años, es decir, con un periodo de 25-30 años secos y otro lluvioso de igual cantidad de años.

En un trabajo reciente de Minetti y otros (2011) mostraron la conexión existente entre las temperaturas mínimas medias de Julio-Agosto en San Miguel de Tucumán, el Índice de Oscila-



► Figura 3: (izq.), índice anual de sequía en Argentina, su tendencia y un ajuste polinómico de 5to. Grado. (der.), diversos polinomios aplicados al índice anual de sequía y adjunto un análisis espectral (Tukey, 1950) mostrando la mayor parte de la varianza explicada en una oscilación del orden de 50-60 años.

Variables	ISARG13a	TISMT08	SOI08	PDO08
ISARG13a	1	-0.44	0.38	-0.28
TISMT08	-0.44	1	-0.22	0.11
SOI08	0.38	-0.22	1	-0.45
PDO08	-0.28	0.11	-0.45	1

► Cuadro 1: Correlaciones entre el Índice de sequía anual en Argentina para los períodos agrícolas (Jl-Jn) ISARG13a, temperatura mínima mensual de Agosto en San Miguel de Tucumán TISMT08, Índice de Oscilación del Sur, SOI08 y la Pacific Interdecadal Oscillation PDO08 todos en el mes de Agosto para el período 1900-2007. Remarcadas en negrita estadísticamente significativas al 5% (Rc = 0.19).

ción del Sur (SOI) y el Índice de Oscilación Interdecadal del O. Pacífico (PDO). Ellos pueden verse como tendencias suavizadas en la figura 4 y sus correlaciones entre las variables en el cuadro 1. En la figura 4 se ve un ciclo de aproximadamente 25 años con bajos índices SOI, o eventos "El Niño" más frecuentes con aguas superficiales más cálidas en la mayor parte del O. Pacífico y temperaturas invernales más benignas en el Trópico Argentino.

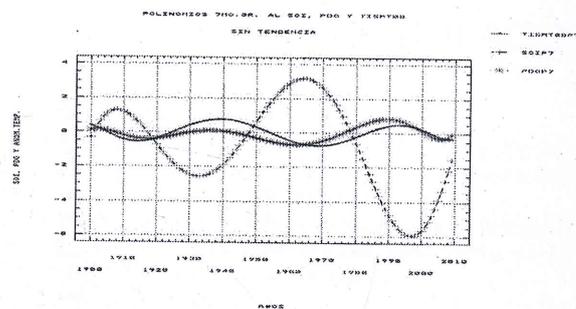
La figura 5 muestra cómo es el comportamiento térmico de S.M. de Tucumán en el largo plazo representado por las temperaturas mínimas medias de Julio+Agosto a las que se les filtró su tendencia para evitar hacer inferencias sobre el Cambio Climático o los efectos urbano-industriales sobre la estación meteorológica ubicada en el borde NE de la ciudad. El comportamiento a largo plazo muestra el inicio de un proceso de enfriamiento reciente a partir del 2003 que se parece al ocurrido a comienzos de la década de 1950. Este fenómeno ha producido en el pasado las peores pérdidas en las agriculturas regionales del NOA, y países vecinos con sus cultivos tropicales (Minetti y otros, 1982, Garcafe, 2000). Las últimas referencias de este ciclo frío se observaron en 1975 y luego sobrevino un período invernal más atenuado que se extendió hasta comienzos de la década pasada. En el año 1998 no se registraron heladas en la región de estudio.

La figura 6 muestra la evolución temporal de las frecuencias de heladas en las localidades de Catamarca y La Rioja, en un período donde no se registraron cambios de posición en las estaciones meteorológicas.

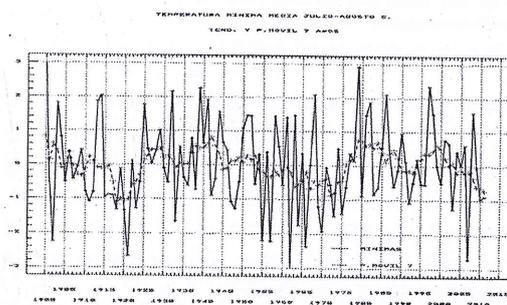
En ella se observa que aún cuando la tendencia de los eventos decrecían hacia comienzos de la década pasada (2001) se había registrado uno extraordinario en 1993 con 28 días de heladas en Catamarca y 18 en La Rioja, para un promedio de 13.7 y 11.6 días respectivamente. Las pérdidas en la olivicultura por las heladas del último quinquenio han sido enormes, no solo en producción de aceitunas de mesa y aceite de oliva, sino también por las mermas originadas por heladas en las nuevas plantaciones, que en el caso de San Juan llegaban a unas 10.000 Has afectadas.

En dicha serie temporal también se nota que pasado el mínimo de largo plazo alrededor del 2001, las tendencias de ocurrencia de heladas crecieron, duplicando su promedio en el orden de 7 a 14 días por año.

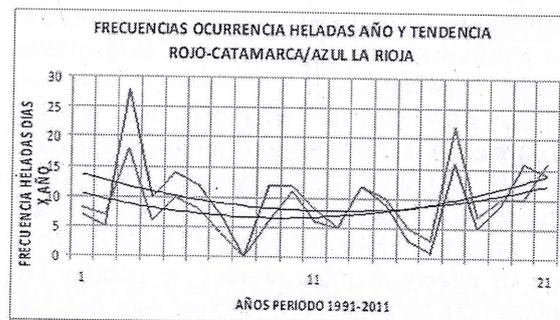
Anderson (1992) mostró, con información paleoclimática, que esta onda de cambios térmicos en el O. Pacífico (PDO) tiene una oscilación del orden de alrededor de 50-60 años. Por supuesto queda todavía un largo camino por



► Figura 4: Ajuste polinómico de 7mo. grado aplicado a los índices SOI, PDO y temperaturas mínimas medias de los meses de Julio+Agosto en San Miguel de Tucumán-Arentina.



► Figura 5: Temperaturas mínimas medias de Julio+Agosto en S.M. de Tucumán filtrada la tendencia y luego suavizada con un promedio móvil de 7 años.



► Figura 6: Frecuencia de ocurrencia de heladas en las ciudades de Catamarca y La Rioja con sus tendencias de 2do. grado.

recorrer con posibilidades de eventos heladores mayores que los observados entre 1995-2002, cuando esta onda alcanzó su mínimo. No quiere decir que se tendrán 25 años con heladas intensas y frecuentes, pero sí que las condiciones de heladas se han realizado y continuaría así 18 años en promedio, como para tener en cuenta a esta adversidad y sus impactos en esta nueva actividad agrícola regional.

A continuación el cuadro 2 muestra la frecuencia de heladas observadas por año y la mayor intensidad del evento frío.

Por la experiencia acumulada en el pasado con este tipo de problemas sería importante realizar acciones tendientes a resolver o aminorar el impacto de este fenómeno en la olivicultura. Entre las cuestiones a solucionar quedan: a) la

Años	Frec.Hel.CAT	Min.Abs.CAT	Frec.Hel.LAR	Min.Abs.LAR
1991	7	-3	8	-3
1992	5	-3	7	-1
1993	28	-6	18	-3
1994	10	-7	6	-5
1995	14	-3	10	-1
1996	12	-4	8	-2
1997	7	-3	4	-1
1998	0	-	0	-
1999	12	-2	6	-2.3
2000	12	-5	11	-4.2
2001	8	-4.4	6	-3.3
2002	5	-1.4	5	-1.5
2003	12	-2.0	12	-2.0
2004	9	-3.0	10	-4.0
2005	3	-2.0	5	-1.0
2006	1	-1.4	3	-1.0
2007	16	-4.0	22	-4.0
2008	5	-1.0	7	-3.0
2009	9	-6.7	10	-4.3
2010	16	-2.8	10	-3.3
2011	14	-3.6	16	-4.1
Promedio/abs.	9.8	-7.0	8.8	-5.0

► Cuadro 2: Frecuencias de heladas por año y máxima intensidad del frío en las ciudades de Catamarca y La Rioja (aeropuertos según el SMN) en el período 1991-11. Los dos valores más extremos (10% casos) se identifican con negrita.

mejora del conocimiento sobre el fenómeno de heladas con su distribución en el tiempo y espacio, b) mejorar las técnicas del manejo del cultivo en cada finca, análisis de pendiente, dotación

de riego, etc., para que el fenómeno tenga un impacto mínimo, y c) en el futuro, conseguir mejoras varietales para mitigar el impacto del frío extremo.

En lo coyuntural el apoyo del Estado para mitigar las pérdidas ocurridas no es menor, además de incentivar la actividad, sustentando la actividad en una zona árida que es de interés local y regional.

Las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy atravesaron un proceso semejante en la década de 1950, cuando la principal actividad, la azucarera, tenía ya medio siglo. Tal vez explorando esta experiencia, citada por Fogliata (2011) en las provincias mencionadas, se podrían implementar acciones para resolver este delicado problema.

CONCLUSIONES

Se ha detectado que las fases negativas de una oscilación de largo período del ENSO, o PDO fueron responsables en el pasado de condiciones térmicas extremas en la zona tropical-subtropical de Argentina.

Esta fase negativa correspondiente a un O. Pacífico con anomalías térmicas superficiales negativas o más frías, ha comenzado alrededor del 2003 produciendo un importante crecimiento en los índices de sequía y heladas extremas.

Este último aspecto ha impactado considerablemente en la región olivarera produciendo pérdidas no solo de cosechas en el último quinquenio, sino además la muerte de árboles jóvenes que deberán ser replantados o el abandono de amplias zonas bajas donde la helada es más frecuente y más intensa.

Por la experiencia adquirida en el pasado, las acciones para resolver estos problemas se encuadran dentro de las soluciones tecnológicas (fitotecnia) o de manejo del cultivo de interés (olivo).

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, R.Y.: 1992: Long-term changes in the frequency of occurrence of El Niño events. 193-20. En "El Niño: Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation". Ed. por H. Díaz and V. Markgraft, 476 p.

FOGLIATA, F. a., 2011: La Estación Experimental Agrícola de Tucumán, entre 1960 y 1975. Vivencias del autor. Ind. Gra. Viamonte. Tucumán, 160 p.

GARCAFE, 2000: Quiebre de la hegemonía del estado de Paraná en la producción brasileña de café. Mayo.

LUPIANO, G., 2011: Catamarca lidera la producción nacional de aceite de oliva. Catamarca Rural, 24 Noviembre

MACDONAL, G.M., AND R.A. CASE, 2005: Variations in the Pacific Decadal Oscillation over the past millennium. Geophysical Research Letters, vol. 32, DOI 10.1029.

MINETTI, J.L., NEDER, R.A., GARGIULO, C.A. Y SAL PAZ, J.C., 1985: Impacto del clima sobre la producción de caña de azúcar en Tucumán. Pub. Misc. Nº 72. EEAOC. S.M. de Tucumán.

MINETTI, J.L., AND VARGAS, W. M., 1998: Trends and jumps in the annual

precipitations in South America, south of the 15°S. *Atmósfera* 11:205-221. México.

MINETTI, J.L., NAUMANN, G., VARGAS, W.M. Y POBLETE A.G., 2008: Las sequías en el largo plazo en Argentina y sus precursores invernales. *Rev. de Geo.* Nº 12, 26-37. Ins. Geo. Apl. UNSJ.

MINETTI, J.L., VARGAS, W.M., POBLETE, A.G., L.R. DE LA ZERDA Y ACUÑA, L.R., 2010 a: Regional droughts in southern South America. *Theor.Appl. Climatol.* DOI 10.1007/s00704-010-0271-1.

MINETTI, J.L., POBLETE A.G. AND BOBBA, M.E., 2010 b: Regional droughts in the southern of South America-Physical aspects. *Rev.Bra. Met.* Vol. 25 Nº 1, 88-102

MINETTI, J.L., POBLETE, A.G., VARGAS, W.M. Y OVEJERO, D.P., 2011 Interdecadales changes in the hydric condition of Argentina associated with temperature invernal-primaveral of the continent and the ocean. En prensa.

TUKEY, J.W., 1950: The sampling theory of power spectrum estimates. Symposium on Applications of Autocorrelation Analysis to Physical Problems. U.S. Office of Naval Research. NAVEXOS-P735, DC., 47-67p.

INDICE ACUMULADO

BOLETIN DE GEOGRAFIA N° 1 (1998). 38 páginas.

- POBLETE, Arnobio G. 1998 «Análisis de la marcha inter-annual e Intraestacional de las temperaturas mínimas diarias en Pocito».
- LOPEZ, María Inés, JOFRE, Carmen, SANCHEZ, Sandra «La Industria Urbana en el Gran San Juan»
- MIKKAN, Raúl, ULIARTE, Enrique «Geomorfología del Area de la Reserva de San Guillermo. San Juan. Argentina»
- PICKENHAYN, Jorge A «La Geografía y los planteos trans-disciplinarios» -
- POBLETE, Arnobio G., LOPEZ, María Inés, JOFRE, Carmen, SANCHEZ, Sandra, MIKKAN, Raúl, ULIARTE, Enrique, PICKENHAYN, Jorge A. FANCHIN, Ana., SANCHEZ, Patricia, ANEAS, Susana D., AGUIAR, Laura., RUIZ, María del Carmen, MORENO, Roberto Aníbal MINETTI, Juan., VARGAS, Walter, ACUÑA, L., De la ZERDA, L, ACOSTA, Ricardo H. ESCUELA, M. B., BONO, M.L., FERREYRA, S. M., PEYRIC, A, MONFORT, S. CASAS, M., BERTOL, E. F., CANAPAN, Silvia E., TORRES, José E., SUAREZ MONTENEGRO, Elvira, GONZALEZ VIAÑA, María del e., BOBBA, María, HERNANDEZ, Claudia M., GONZALEZ, M.e., MICHIELI, C.T., GUZZO, Elina, SANCHEZ, Emilia, MANAR, María A, RAMIREZ, Ricardo, MENDOZA, E., AL-BARRACIN, Fátima.

BOLETIN DE GEOGRAFIA N° 2 (1999). 49 páginas.

- LOPEZ, María Inés, JOFRE, Carmen, SANCHEZ, Sandra «Evaluación de un proyecto de Inversión en Infraestructura Hidroenergética con fuerte impacto territorial en el Oasis de Tulum»
- FANCHIN, Ana., SANCHEZ, Patricia «Mortalidad y Política Sanitaria en la Ciudad de San Juan 1880-1910».
- PICKENHAYN, Jorge A «Geografía de Salud en el Norte de San Juan».
- POBLETE, Arnobio G., SANCHEZ, G. «Análisis espacio temporal de la situación climática asociada a la mayor temperatura máxima absoluta del periodo 1900-1997 en el Valle de Tulum».
- ANEAS, Susana D. «La Relación Hombre-Medio: Evolución del tema en Geografía» 1999.
- MIKKAN, Raúl «Modelado glaciar y periglacial en el Valle del Río Macho Muerto. Reserva de San Guillermo. San Juan».

REVISTA DE GEOGRAFIA N° 3 (2000). 38 páginas.

- LOPEZ, María Inés, JOFRE, Carmen, SANCHEZ, Sandra «La ciudad de San Juan. Estructura y Funcionalidad»
- JOFRE, Carmen «La Administración de la Ciudad de San Juan».
- POBLETE, Arnobio G., AGUIAR, Laura «Análisis estadístico sobre la ocurrencia del temporal de Santa Rosa en San Juan»
- RUIZ, María del Carmen «Consideraciones acerca del uso del espacio geográfico a la luz de la estrategia militar».

REVISTA DE GEOGRAFIA N° 4 (2000). 68 páginas.

- POBLETE, Arnobio G., SANCHEZ, G. «Análisis de la posible asociación entre los derrames del río San Juan y el fenómeno de «El Niño/ La Niña».
- MORENO, Roberto Aníbal «Geomorfología del corredor andino de Agua Negra. Dpto. Iglesia, San Juan».
- PICKENHAYN, Jorge A «Instalación Humana y problemática de la salud como aspectos básicos de la geografía rural en

Bardas Blancas, Mendoza, Argentina»

- MINETTI, Juan., VARGAS, Walter, ACUÑA, L., De la ZERDA, L, POBLETE, AG. «Tendencias actuales de la precipitación anual en la Argentina y Chile. Impactos».
- ACOSTA, Ricardo H. «Análisis de los extremos térmicos y precipitaciones en la localidad El Balde. Dpto. Jáchal. en el periodo 1965- 1979. Prov. de San Juan».

REVISTA DE GEOGRAFIA N° 5 (2001). 61 páginas.

- ESCUELA, M. B., BONO, M.L., FERREYRA, S. M. «Análisis de algunas leyes que abordan la problemática ambiental».
- SANCHEZ, S., PEYRIC, A, MONFORT, S. CASAS, M. «Impacto generado por el vertido de residuos sólidos en un área de influencia inmediata de la ciudad de San Juan».
- ACOSTA, Ricardo H. «Análisis de los vertederos en el Valle de Tulúm (Prov. de San Juan)».
- MINETTI, J., VARGAS, W., POBLETE, A. «Observando a El Niño/ La Niña con la temperatura de Lima (Perú)».
- POBLETE, Arnobio G., BERTOL, E. F. «Variabilidad inter-annual del Río San Juan».

REVISTA DE GEOGRAFIA N° 6 (2002). 65 páginas.

- ANEAS, Susana D. «Análisis Factorial en Geografía Humana: un caso de aplicación».
- POBLETE, Arnobio G., AGUIAR, Laura., SILVA, Sonia «Estructuras Estadísticas de los derrames del Río San Juan y Jáchal».
- CATAPAN, Silvia E. «Tipología Sociodemográfica de la Provincia de San Juan».
- TORRES, José Ernesto «Geografía de la población de San Juan a través de la asociación estadística entre variables».
- SUAREZ MONTENEGRO, Elvira «Caracterización del clima y las Geoformas del sistema natural de la cuenca hidrográfica del Río Calingasta- San Juan- Argentina».
- GONZALEZ VIAÑA, María del e. «Consumo y Espacio en la Posmodernidad, Madrid-Barcelona y Lisboa».
- MINETTI, Juan., BOBBA, María, HERNANDEZ, Claudia M. «Topoclimatología térmica del Noroeste Argentino»

REVISTA DE GEOGRAFIA N° 7 (2003).- 69 páginas.

- SUAREZ, R. «Obituario en honor a Milton Almeida Dos Santos».
- ACOSTA, R., GONZALEZ, M.e., RUIZ, María del. «Aplicación de un modelo de difusión para determinar la contaminación del aire en el Gran San Juan-Argentina»
- POBLETE, A, MINETTI, Juan «Asociación entre cuantificadores del ENSO e Indices de circulación atmosférica regional con el derrame del Río San Juan».
- PICKENHAYN, Jorge A. «La Geografía de la Salud y el aporte de Foucault».
- ANEAS, S., CATTAPAN, Silvia, TORRES, José «Areas de diagnóstico de peligrosidad en el SE de San Juan- Argentina».
- MICHIELI, C. T., «Activación de ciénagas y pantanos en el SE de Mogna durante el Siglo XVIII».

REVISTA DE GEOGRAFIA N° 8 (2004) 100 Páginas

- POBLETE, A.G. AGUIAR, Laura «La implicancia climática del movimiento diurno solar aparente y su variabilidad estacional en San Juan-Argentina»
- ANEAS, Susana., CATTAPAN, Silvia «Crecimiento Demográfico en los departamentos de la Prov. de San Juan en el último tercio del Siglo XX».
- ACOSTA, Ricardo H. «Relación existente entre los sitios con vertido de residuos sólidos urbanos y las napas freáticas en el

Valle de Tulum (Prov. de San Juan).

- MINETTI, J.L., VARGAS, W.M., ALBARRACIN, SA «La variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en el Noroeste de Argentina»
- MENDOZA, EA, MINETTI, J.L. «Posibles causas de los incendios forestales de la selva montana del Noroeste de Argentina».
- RAMIREZ, Ricardo «Base para entender el Urbanismo en Latinoamérica»
- SANCHEZ ROJAS, E., MATTAR, Maria A «Mapa geomorfológico de un sector de Jáchal- Provincia de San Juan. Argentina»
- GUZZO, Elina «Carta de Vulnerabilidad Sísmica en el Distrito de Villa Aberastain, Departamento Pocito, Provincia de San Juan, Argentina»
- ANEAS DE CASTRO, Susana «Dimensiones psicológicas que influyen en la percepción de los peligros ambientales»

REVISTA DE GEOGRAFIA Nº 9 (2005) 80 Páginas

- BUZAI, Gustavo D. «Geografía Cuantitativa 2000 +20 Lecciones fundamentales y sus tendencias de evolución»
- POBLETE, Arnobio G., AGUIAR, Laura A. «Factores climáticos que inciden en la variabilidad espacial de la Temperatura en la Provincia de San Juan- Argentina»
- CATTAPAN, Silvia E. «Índice de vulnerabilidad para evaluar factores externos que inciden en las enfermedades»
- BOBBA, Maria E., MINETTI, Juan L. «Relación entre la presión atmosférica y las sequías en la Región del Noroeste Argentino»
- ANEAS, Susana D. «Los primeros veinte siglos de Geografía»
- PALACIO, Mercedes del V. «Hacia la construcción de una ética para el nuevo Milenio»
- POBLETE, Arnobio G. PIZARRO, Andrea «Aspectos estadísticos del régimen de heladas en Barreal»
- ACTUALIDAD

REVISTA DE GEOGRAFIA Nº 10 (2005) 80 Páginas

- NAUMANN, Gustavo y MARCUZZI, Ezequiel A. «Análisis De Las Condiciones Sinópticas y Estructura Térmica Vertical Asociadas A La Ocurrencia De Precipitación Extrema Diaria Estival En Córdoba»
- ARNOBIO, G. Poblete y MINETTI, Juan L. «Propuesta De Modelos Empíricos Predictivos Del Derrame Anual De Río San Juan»
- SUAREZ MONTENEGRO, Elvira Aideé «Análisis Geomorfológico De La Cuenca Hidrográfica Del Río Ancho. Departamento Zonda, Provincia De San Juan»
- MINETTI Juan L. ; VARGAS, Walter M. y LEIVA, Marilyn Del V. «Cambios En La Precipitación Media De Argentina Y Chile Relacionadas Con El ENSO. Análisis De Mesoescala En El Noroeste Argentino»
- VARGAS, Walter M. ; NAUMANN, Gustavo y MINETTI, Juan L. «Las Tendencias De La Temperatura Máxima Y Mínima En Series De Referencia Del Sudeste De Sudamérica. Aspectos Metodológicos».
- CATTAPAN, Silvia «Análisis comparativo de métodos de clasificación en geografía»
- POBLETE, Arnobio G. «Análisis De Extremos Del Derrame Anual Del Río San Juan Aplicando Distribuciones Gamma.»
- MARCUZZI, Ezequiel A. y NAUMANN, Gustavo «Los Patrones De Circulación Y Estructura Térmica Vertical Como Elementos De Pronóstico En La Estimación De La Evolución De Los Incendios Forestales En La Patagonia Cordillerana.»
- ACTUALIDAD UNA GLOBALIZACIÓN INNECESARIA, UN TERRITORIO INESTABLE, Silveira

REVISTA DE GEOGRAFIA Nº II

-RES. NUCLEO BASICO

- HOMENAJE A CAPITANELLI
- BUZAI, Gustavo D. PINEDA DE CARIAS, Maria Cristina. «Estructura Socioespacial De La Republica De Honduras. Análisis exploratorio y de autocorrelación en el estudio de la distribución y asociación espacial del IDH y niveles educativos.»
- POBLETE, Arnobio Germán, MINETTI, Juan L., AGUIAR, Laura. «Reconstrucción Histórica de los derrames anuales del río San Juan -Argentina-, Mediante Modelos No Lineales basados en Registros de Precipitaciones de localidades Chilenas. »
- GARCIA MARTINEZ, Belén Y ESCUDERO, Rafael Baena. «Comportamiento Hidrogeomorfológico del río Rivera de Hueznar (Sierra Morena, España)>>
- MINETTI, Juan L., VARGAS, Walter M., POBLETE, Arnobio G., MENDOZA, Eduardo A. «Posición Latitudinal del Anticiclón del Pacífico Sur el') y su Impacto en cambios de larga escala del derrame anual de ríos en Argentina.»
- PALACIO, Mercedes. «Hacia la Construcción de una ética para el Nuevo Milenio" Parte 11. Hacia una Nueva ética para una Nueva Conciencia.»
- CORTELLEZZI, Mónica, KARAKE, Nesrin, TRIFIRÓ, Maria Cristina, BLAZSEK, Andrea. «Un Espacio Urbano con Sentimiento de Aislamiento y una marcada Problemática Socioeconómica. El Caso del Barrio La Favorita, Ciudad de Mendoza (Argentina)>>
- MENDONÇA, Francisco. «A Geografia Na Pós-Graduação Brasileira.»
- ACTUALIDAD
- SILVIA VILLALOBOS

REVISTA DE GEOGRAFIA Nº 12

- TAMBURINI, Daniela Maria - KUFNER, Maura Beatriz. «Caracterización ambiental y ordenamiento de la vertiente oriental de la sierra chica (Córdoba, Argentina) para planificación sustentable»
- MINETTI, Juan L. - NAUMANN, Gustavo - VARGAS, Walter M. - POBLETE, Arnobio G. «Las sequías en el largo plazo en Argentina y sus precursores invernales»
- FONSALEDA, Valeria Inés Lezcano. «Aplicación de políticas públicas en la actividad agrícola de departamentos rurales de San Juan»
- POBLETE, Arnobio G. - MINETTI, Juan L. - VALDEZ, Vanesa «Asociaciones espaciales entre índices de circulación atmosférica regional y de la cuenca océano-atmósfera, con los caudales del río San Juan - Argentina»
- MAZUELOS DIAZ, Cristina L. «Representación espacial del dengue en la Argentina. Periodo 1998 - 2007»
- GATTINONI, Natalia N. - NAUMANN, Gustavo «Análisis de las distribuciones de secuencias húmedas en la ciudad de Buenos Aires y alrededores»
- VARGAS, Walter - BISCHOFF, Susana - MINETTI, Juan NAUMANN, Gustavo «Diagnóstico conjunto de los caudales del río Paraná y Uruguay. Énfasis en la homogeneidad de la red en cada río»
- ACTUALIDAD

REVISTA DE GEOGRAFIA Nº 13

- HERRERA Natalia - BISCHOFF Susana «Variabilidad Espacio-temporal de Los Ascensos y Descensos extremos de la Temperatura Mínima»
- VELÁZQUEZ Guillermo A. - VEGA Andrea «Mortalidad Infantil y Cobertura Social. Análisis Según Escala Urbana y Regiones en la Argentina (2001).»
- CARDUS Adriana - ARROQUI LANGER Agustín - CHILLEMI María Rosa - NOZICA Graciela «Mapeo de los usos del suelo en la localidad de Villa Nueva Departamento Calingasta Provincia de San Juan, mediante la aplicación de la Técnica