

Variabilidad del clima asociado con la precipitación y caudales de ríos en los Andes Centrales, Sudamérica

Arnobio Germán Poblete*
Juan L. Minetti**
Daniela Adelina Iranzo***

Abstract

It is being investigated how the hydrology in the Central Andes of Argentina and Chile in the snowy wintery period responds to climatic forces of the regional atmospheric circulation and of the interaction ocean-atmosphere. The parameters used for the studies included the Reanalysis I, an index employed by the international climatological community, and others constructed by ourselves. What is being attempted to measure are the impacts of such conditioning factors in the hydroclimatic variability of the region, the significance of the incidence of each of them in the atmospheric and oceanic agents that influence in the supply of liquid water and snow in the area, the role of the sources of humidity and the precipitant mechanisms that intervene.

Significant correlations between a variety of factors and agents of precipitation have been found, being the SST in the area Niño 3+4, the activity of the South Pacific anticyclone and the west winds, among others, worth mentioning. These were especially validated with data from the Reanalysis I.

Key words: *Meteorology, Central Andes, Atmospheric circulation, Ocean-atmosphere.*

Resumen

Se investiga cómo responde la hidrología de los Andes Centrales de Argentina y Chile en el periodo nival a los forzantes climáticos de la circulación atmosférica

* Instituto de Geografía Aplicada de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) y Laboratorio Climatológico Sudamericano (LCS), Av. Rioja 1110 N, San Juan, 5400, Argentina, correo electrónico: agpoblete@gmail.com

** Consejo Nacional de Investigaciones Científicas (CONICET), Universidad Nacional de Tucumán (UNT) y LCS.

*** Instituto de Geografía Aplicada, Universidad Nacional de San Juan (UNSJ).

regional y de la interacción océano-atmósfera, parametrizados con el Reanalysis I, índices utilizados por la comunidad climatológica internacional, y los construidos por los autores. Se intenta valorar los impactos de dichos condicionantes en la variabilidad hidroclimática de la región, la significación de la incidencia de cada uno de ellos en los agentes atmosféricos y oceánicos que influyen en la alimentación de agua líquida y nieve en el área de estudio, el rol de las fuentes de humedad y los mecanismos precipitantes intervinientes.

Se encontraron correlaciones significativas de varios factores y agentes con la precipitación entre los que se destacan las SST en el área Niño 3+4, la actividad del anticiclón del Pacífico Sur y los vientos del oeste, entre otros, las que fueron validadas espacialmente con el Reanalysis I.

Palabras clave: *Andes Centrales, circulación regional atmosférica, cupla océano-atmósfera.*

Introducción

En la actualidad las regiones de Cuyo en Argentina y Chile central están sufriendo las consecuencias de una de las sequías más prolongadas en los Andes Centrales de los últimos tiempos, que se agudizó desde 2010. La temporada nival en 2012 fue una de las más deficitarias, no vislumbrándose en la actual (agosto, 2013) un cambio sustancial, sino que, en el sentido opuesto, se ha producido un estado que se asemeja al de las graves sequías de 1968-1970 que impactaron severamente en el recurso hidrológico de las citadas regiones y motivaron la construcción de las importantes obras hidráulicas, tales como el Dique de Ullum en San Juan y Carrizal, y Potrerillos en Mendoza, entre otros.

Por ese motivo, en el pasado reciente se han realizado abundantes investigaciones referidas a la interacción de los factores atmosféricos y oceánicos que condicionan las precipitaciones en la Cordillera Central de Argentina y Chile, todas ellas en la búsqueda de respuestas sobre los factores y forzantes que desencadenaron esta situación (Benites y King, 1977, Menegazzo y otros, 1984).

Algunas de dichas investigaciones se centraron en la génesis de los procesos que tienen que ver con variables atmosféricas (Pittock, 1980, Minetti y otros, 1982), mientras que otras se extienden a la interacción mar-atmósfera (ENSO-PDO) (Poblete y otros, 2008).

En este artículo se investiga cómo responde la variabilidad hidrológica de los Andes Centrales de Argentina y Chile, representada paramétricamente por el derrame del río San Juan, en el periodo nival abril-septiembre a los forzantes climáticos naturales de la circulación atmosférica regional y la cupla océano-atmósfera, tales como los eventos “El Niño/La Niña” y las SST (Surface Sea Temperature) de los océanos en el entorno de Sudamérica y otros más remotos.

Los índices usados son los formulados por los principales centros climatológicos mundiales tales como la NOAA, NASA (Estados Unidos), entre otros, y además los construidos al efecto por los autores. Todos ellos fueron validados con los datos del Reanalysis I por Poblete, *et al.* (2012), usando técnicas estadísticas multivariantes y las propias del Reanalysis I del NCEP/NCAR. Se intenta responder sobre los niveles espaciales de impacto de los condicionantes citados en la variabilidad hidroclimática de la región. Se investiga la significación de cada uno de los factores dependientes de las fuentes de humedad, los océanos Atlántico y Pacífico o Amazónicas y además cómo serían los mecanismos precipitantes intervinientes (Quintana J.M. y Aceituno P., 2011).

Datos y métodos

Por la inexistencia de datos de nieve y precipitación suficientes sobre los Andes Centrales, se utiliza como índice hidroclimático de los mismos a los derrames anuales del río San Juan. Esto surge de acuerdo con los estudios realizados por Minetti (1985) y Poblete *et al.* (2008), en los cuales se demostró que dicho río se asemeja al derrame medio de todos aquellos que se alimentan del agua de deshielo proveniente de la región.

La elección del mencionado río también se basa en la amplitud de su cuenca de 38.462km² (Lupano, C.F., 2008) y en su localización en una región “climosensible” (Minetti *et al.*, 1982), generada por la influencia pacífica y el factor latitudinal que se muestra en la Figura 3. En ella se aprecia la relación entre agua precipitada y derrames de los ríos cordilleranos observándose la ubicación de las respectivas cuencas teniendo en cuenta al piso superior (dependiente fundamentalmente de los mecanismos precipitantes provenientes del Pacífico), y el inferior (que depende principalmente del estado del océano Atlántico), (Bruniard, 1982), (Poblete *et al.*, 1989). Además, se lo valida como representativo utilizando los índices descritos para examinar la homogeneidad espacio-temporal del río San Juan, mediante el Reanalysis I confirmando la relación significativa entre la precipitación caída en el periodo abril-septiembre en los Andes Centrales y sus caudales en octubre-marzo como se muestra en la Figura 4.

Los cuantificadores del ENSO y demás índices de circulación regional y de la cupla océano-atmósfera, tanto adyacentes al área de estudio como remotos, fueron obtenidos de la CDC-NOAA (2001), NASA, CODAS (Smith y Reynolds, 2003), y Laboratorio Climatológico Sudamericano de la Fundación Caldenius, con series temporales comunes en el intervalo: 1909-2010 para el análisis estadístico, y 1948-2010 para el Reanalysis I, registrados en abril-septiembre, principal periodo de alimentación pluvivalenlos Andes Centrales. El resto de los índices analizados fueron descritos en Poblete, *et al.*, 2001, Poblete *et al.*, 2005, más los construidos actualmente, que se detallan en la descripción de cada uno de ellos (véase Figura 2).

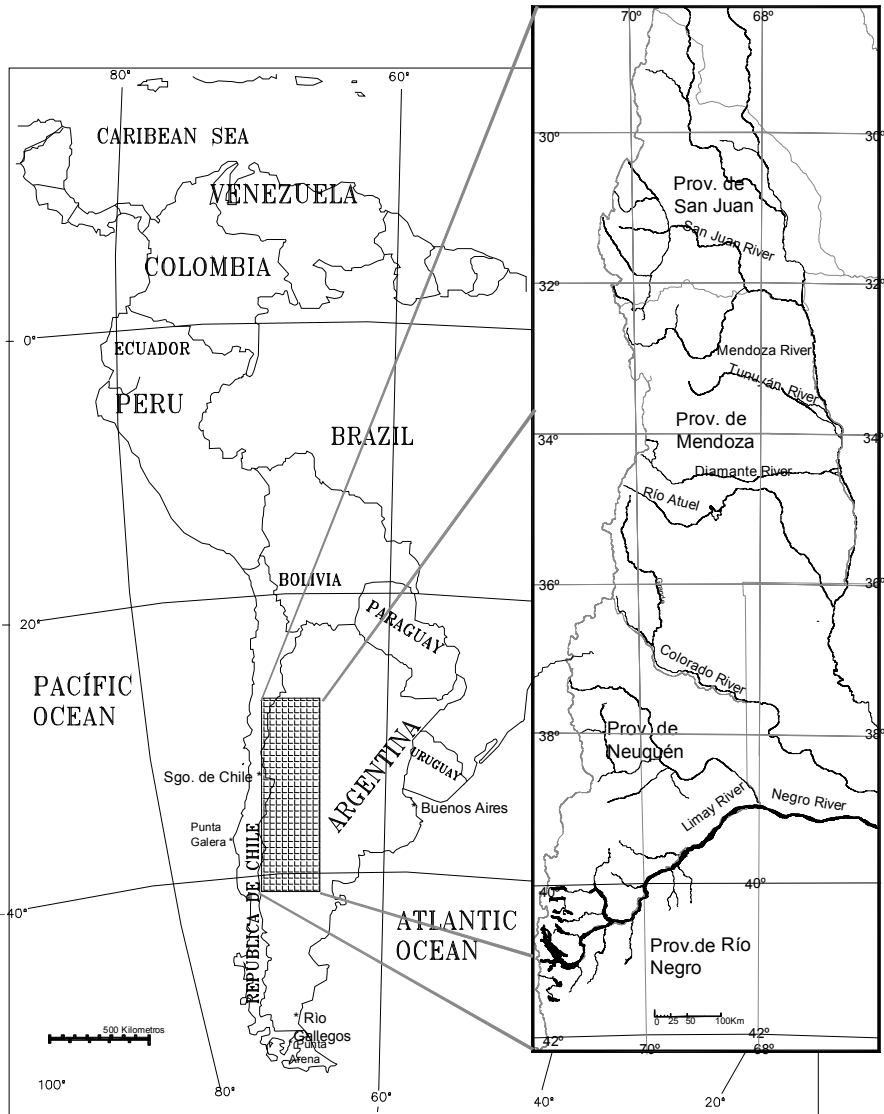


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

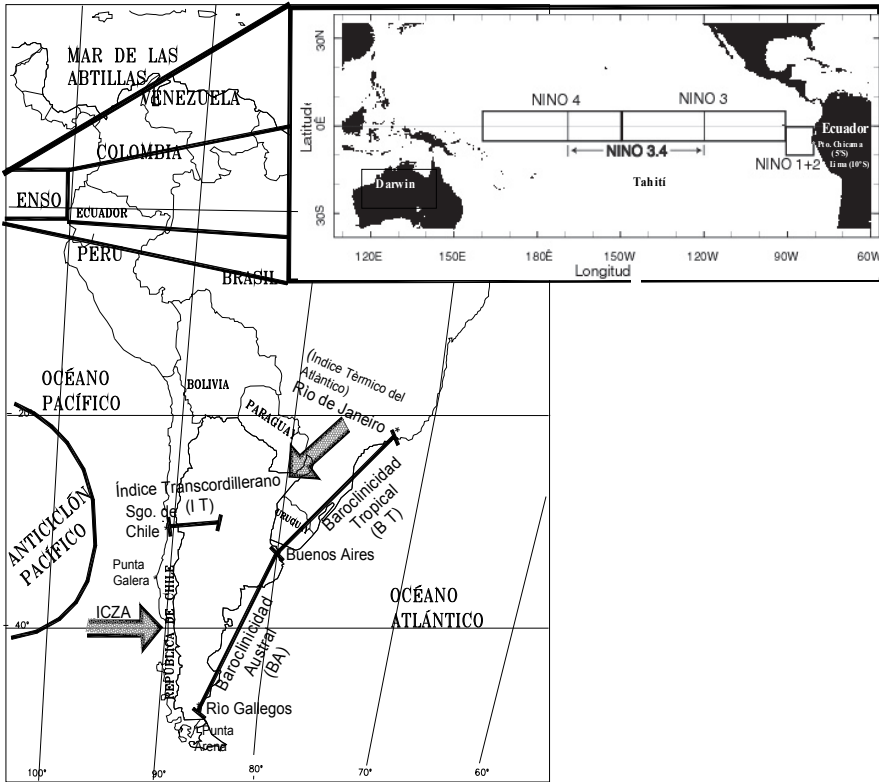


Figura 2. Ubicación geográfica de los índices atmosféricos y de la cupla océano-atmósfera usados en este trabajo (elaboración propia y adaptación de figura obtenida de <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindic>>.

Índices atmosféricos

I Baroclinicidad Austral, medida con tres índices:

- i BA1: diferencias de anomalías de las temperaturas medias entre Buenos Aires (34° 35' S y 58° 29' W) y río Gallegos (51° 37' S y 69° 17' W)
- ii BA2: diferencias de anomalías de las temperaturas medias entre Mendoza (32° 53' S y 68° 50' W) y río Gallegos (51° 37' S y 69° 17')
- iii BA3: diferencias de anomalías de las temperaturas medias entre Santiago de Chile (33° 26' S 70° 4' O) y río Gallegos (51° 37' S y 69° 17') (Minetti *et al.*, 2010).

La baroclinicidad indica la capacidad que tiene la atmósfera para generar disturbios o mecanismos precipitantes.

- II Baroclinicidad Subtropical, calculada con los siguientes índices:
 - i RB: diferencias de anomalías de las temperaturas medias entre Río de Janeiro (22° 54' S y 43° 13' W) y Buenos Aires.
 - ii RT: diferencias de anomalías de las temperaturas entre Río de Janeiro (22° 54' S y 43° 10' W) y San Miguel de Tucumán (26° 49' S y 65° 12' W).
- III Vientos del “Oeste”, cuya actividad es estimada con el Índice de Circulación Zonal Austral (ICZA), calculado mediante las diferencias de presión atmosféricas entre Punta Galera (40° 41' S y 73° 44' W) y Punta Arenas (53° 10' S y 70° 54' W) en Chile (Minetti, 1985; Minetti y Sierra, 1989; Vargas y otros, 1995).
- IV Actividad anticiclónica en el Centro de Chile o del borde oriental del anticiclón del Pacífico Sur, estimada mediante la Anomalía de la Amplitud Térmica (ATSGO) y la presión atmosférica en Santiago de Chile (PSGO), (Minetti *et al.*, 1982).
- V Posición latitudinal del anticiclón subtropical del Pacífico Sur (LSAP) en el periodo 1901-2004, obtenida por los autores y descripta en otro trabajo (Minetti *et al.*, 2009).
- VI Circulación a barlovento y sotavento en los Andes Centrales, estimada con el Índice de diferencias de presión atmosférica entre Santiago de Chile y Córdoba (31° 25' S y 64° 11' W) (DPSGCB), (Minetti *et al.*, 1993).
- VII Actividad acoplada de los anticiclones del Pacífico y Atlántico Sur, cuantificada con las diferencias de presión atmosférica entre Santiago de Chile y Buenos Aires (DPDSGBU).
- VIII Estado barométrico en el Río de La Plata y su entorno, estimada con la anomalía de presión atmosférica en la ciudad de Buenos Aires (PBUE).
- IX Estado barométrico en el borde occidental del anticiclón del Atlántico sur, calculado por medio de la presión atmosférica en Río de Janeiro (PRIO).
- X Estado barométrico en el centro de Argentina estimada con la anomalía de la presión atmosférica en la ciudad de Córdoba (PCBA).
- XI Estimación de la alternancia de la advección de masas tropicales/subpolares, cuantificada con la temperatura mínima en la ciudad de San Miguel de Tucumán (TISMT), (Minetti *et al.*, 2008).
- XII Estimación de la nubosidad/precipitación en el noroeste argentino, valuada con la temperatura máxima de San Miguel de Tucumán (TXSMT), (Minetti *et al.*, 2012).
- XIII Valuación de la nubosidad en el Río de La Plata y su entorno por medio de la temperatura máxima en la ciudad de Buenos Aires (TXBUE).

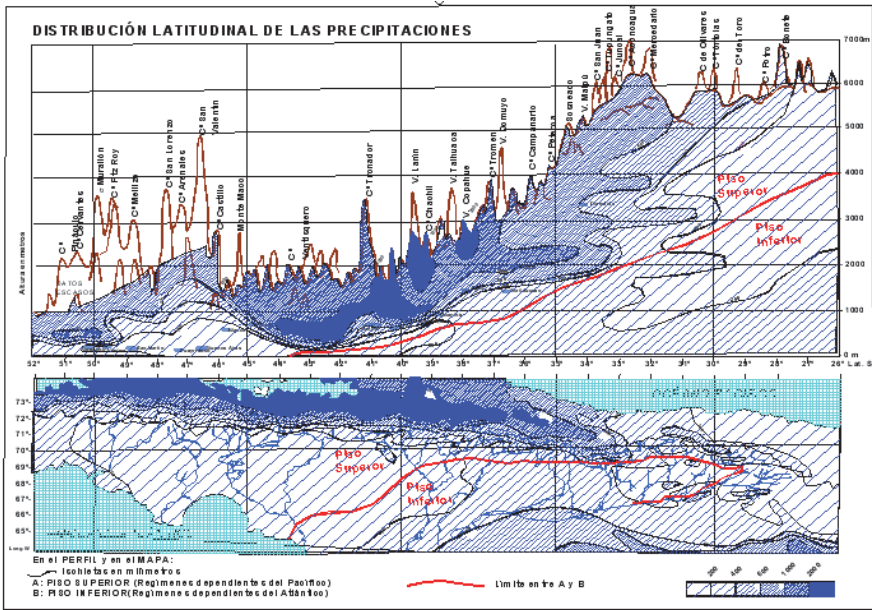


Figura 3. Esquema latitudinal en donde se aprecia la relación entre agua precipitada y derrame de los ríos cordilleranos. Obsérvese la ubicación de las respectivas cuencas de acuerdo al piso superior (dependiente del Pacífico) y piso inferior (dependiente del Atlántico), según Bruniard y Moro (1990).

- XIV Oscilación Cuasi-Bienal (QBO), calculada a partir del promedio del viento zonal en 30mb sobre el Ecuador. Es una fluctuación cuasi-periódica del mismo, entre los vientos del Este y del Oeste en la estratósfera tropical, con un periodo medio de 28 meses. El régimen de alternancia del viento se desarrolla en la cima de la baja estratósfera y descendiendo aproximadamente un kilómetro por mes, hasta que se disipan en la tropopausa tropical. Ese movimiento de descenso de la circulación de los Alisios es normalmente más irregular que la circulación de los “oestes”. La amplitud de la fase oriental, es dos veces más intensa que la de la fase occidental. En el tope del rango de la QBO vertical, los “estes” dominan, mientras que en la base, lo hacen los “oestes” (Baldwing *et al.*, 2001).
- XV Índice llamado AAO (Oscilación Antártica), construido para identificar los modelos de las principales teleconexiones en la circulación atmosférica circumpolar. Se obtiene de aplicar funciones empíricas ortogonales (EOF) a la media de anomalías mensuales de la altura de los 700hPa, entre los 20° S y el

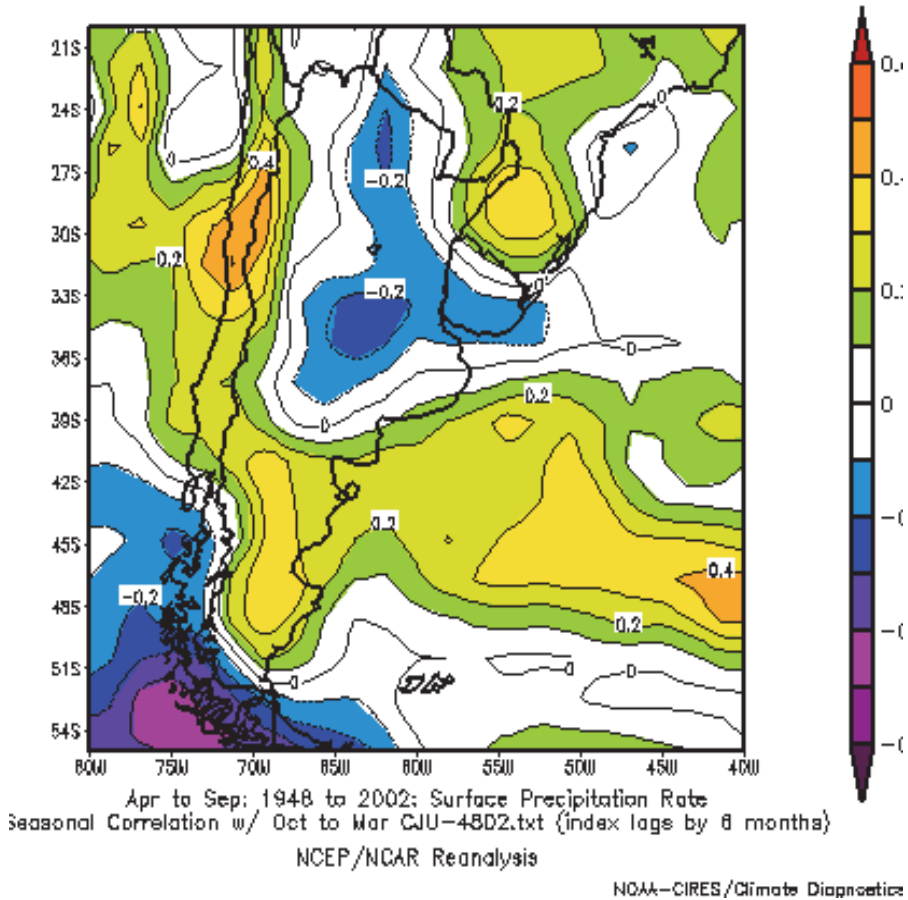


Figura 4. Validación mediante el Reanalysis I de la representatividad del río San Juan como índice hidroclimático de los Andes Centrales. Se correlacionan las precipitaciones caídas en los mismos (periodo abril-septiembre) y los caudales en el lapso octubre-marzo.

Polo Sur. Otros autores lo definen como el componente principal de las anomalías del geopotencial de 850hPa de altura, al Sur de los 20° S (Gong y Wang, 1998).

Índices oceánicos

XVI Temperaturas Superficiales del Mar (SST), en especial las observadas en el área denominada Niño 3+4 (NOAA), (Rasmusson y Wallace, 1983).

- XVII Estado térmico del Océano Atlántico asociado a la principal fuente de humedad del territorio argentino (Aceituno, 1987), estimado con las Anomalías de las Temperaturas mínima media (TIRIO) y media de Río de Janeiro (TRIO).
- XVIII Oscilación Decadal Pacífica (PDO), obtenida del primer componente principal de las anomalías de las SST mensuales en el océano Pacífico Norte (Mantua, 2001).
- XIX Índice del Atlántico Sur Tropical (TSA), que es la anomalía del promedio de las SST mensuales desde el Ecuador a 20° S y desde 10° E a 30° W (GISST, 2012). La NOAA y OI usan conjuntos de datos satelitales oceánicos para calcular este índice (Enfield *et al.*, 1999).
- XX Oscilación Multidecenal Atlántica (AMO) es una fluctuación en las series de tiempo de las temperaturas superficiales del mar (SST) en el Océano Atlántico Norte. Fue identificada en el año 2000 y dicho índice se elaboró en 2001 como la media móvil (lag de diez años) de las anomalías sin tendencia de las SST del Atlántico, al norte del Ecuador (Schlesinger, 1994).
- XXI NAO es el índice que cuantifica la Oscilación del Atlántico Norte, mostrando el comportamiento de la variabilidad atmosférica en el hemisferio septentrional, particularmente en invierno. Se calcula sobre la base de la diferencia entre las presiones atmosféricas normalizadas a nivel del mar sobre Gibraltar (o Portugal, o las Azores) y el suroeste de Islandia (baja polar) (Jones *et al.*, 1997).

Otros índices globales

- XXII El Índice de Flujo Solar (*Solar Flux Index* —SFI) cuantifica las emisiones del Sol en la banda de radio centimétricas. Se deben principalmente al plasma coronal atrapado en los campos magnéticos existentes en las regiones solares activas. Existe, por tanto, una relación entre el nivel de actividad del Sol y estas emisiones, que se refleja en el SFIo F10.7. Este es una medida del flujo solar por unidad de frecuencia a una longitud de onda de 10.7cm <<http://www.ipellejero.es/hf/manpanhf.html>> (Abetti, 1952).

Metodología empleada

Se utiliza el índice de correlación de Pearson cuyo estadístico muestral tiene la forma:

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{n s_x s_y} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

Donde x_i e y_i son variables, n n° de datos, s_x , s_y y x_m e y_m , las respectivas desviaciones estándar y medias.

La significación se obtiene de las tablas usuales (Draper N.R. y H., Smith, 1976; Hammond, R.; Mc Cullagh, P., 1974).

Para el análisis espacial se utiliza el Reanalysis I NCEP/NCAR.

Resultados y discusión

La Tabla 1 y la Figura 5 muestran las correlaciones entre los índices descriptos y el derrame anual del río San Juan. Se observa que la mayor asociación directa es con las SST en el área Niño 3+4 ($r= 0.59$), seguidos por la presión atmosférica de Santiago de Chile, estimada con PSGO ($r= -0.57$) y ATSGO ($r= -0.48$), representativas de la actividad del anticiclón del Pacífico Sur, y en tercer lugar los vientos constantes del Oeste (westerlies) estimados con el ICZA ($r= -0.53$), estos últimos asociados de manera inversa. Le siguen en orden de importancia la condición barométrica en la costa atlántica bonaerense (PBUE= -0.44), el estado barométrico del centro de Argentina (PCBA= -0.41), también ambas con asociación inversa. Continúan la Oscilación Decadal Pacífica (PDO= 0.37), temperatura de Río de Janeiro (TRIO= 0.31) y temperatura mínima de San Miguel de Tucumán (TISMT= 0.30), todas con asociaciones directas, éstas estiman la advección de masas cálidas y húmedas provenientes de Océano Atlántico.

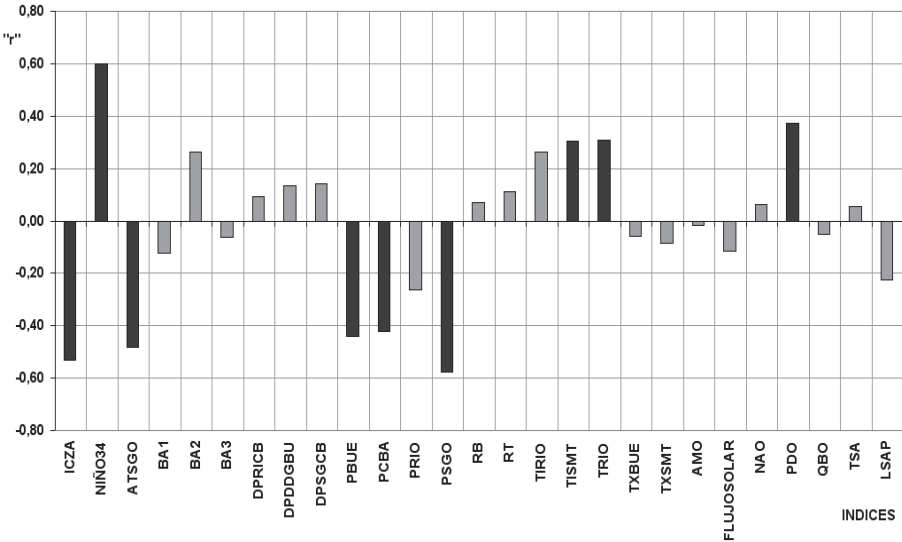


Figura 5. Representación gráfica de la información mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1
Correlaciones entre los índices y el derrame anual del río San Juan.
El sombreado representa la significación estadística a un nivel del 95%

| <i>Indice</i> | <i>Factor o agente que representa</i> | <i>R de Pearson</i> |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ICZA | Vientos constantes del oeste | -0,530859 |
| NIÑO 3+4 | ENSO en la región 3+4 | 0,597755 |
| ATSGO | Actividad del anticiclón del Pacífico Sur, | -0,481388 |
| BA1 | Baroclinicidad entre Buenos Aires-Río Gallegos | -0,123172 |
| BA2 | Baroclinicidad entre Mendoza-Río Gallegos | 0,262173 |
| BA3 | Baroclinicidad entre Sgo. de Chile- Río Gallegos | -0,063994 |
| DPRICB | Diferencia de presión atmosférica Rio de Janeiro-Córdoba | -0,092447 |
| DPDSGBU | Actividad acoplada de los anticiclones del Pacífico y Atlántico Sur | 0,133461 |
| DPSGCB | Circulación a barlovento y sotavento en los Andes centrales | 0,140859 |
| PBUE | Condición barométrica en la costa atlántica bonaerense | -0,440436 |
| PCBA | Condición barométrica en el centro de Argentina | -0,419956 |
| PRIO | Presión atmosférica en el borde occidental del anticiclón del Atlántico Sur | -0,261632 |
| PSGO | Actividad del anticiclón del Pacífico Sur | -0,578359 |
| RB | Baroclinicidad Subtropical este | 0,071418 |
| RT | Baroclinicidad Subtropical norte | 0,110095 |
| TIRIO | Estado térmico del Océano Atlántico | 0,264133 |
| TISMT | Medición de la alternancia del flujo de masas tropicales/subpolares | 0,305134 |
| TRIO | Estado térmico del Océano Atlántico central | 0,307322 |
| TXBUE | Valuación de la nubosidad en el Río de la Plata | -0,059748 |
| TXSMT | Estimación de la nubosidad/precipitación en el Noroeste Argentino | -0,086899 |
| AMO | La media móvil (lag de diez años) de las anomalías sin tendencia de las SST del Atlántico, al norte del ecuador | -0,017698 |
| FLUJO SOLAR | Este es una medida del flujo solar por unidad de frecuencia a una longitud de onda de 10,7cm | -0,115402 |
| NAO | Se calcula como la diferencia entre las presión atmosféricas normalizadas a nivel del mar sobre | 0,061259 |
| PDO | Se obtiene del primer componente principal de las anomalías de las SST mensuales en el Océano Pacífico Norte. | 0,371220 |
| QBO | Oscilación cuasi-bienal que se presenta en los vientos zonales sobre el Ecuador | -0,049948 |
| TSA | Anomalía del promedio de las SST mensual mensual desde el ecuador a 20°S y desde 10°E a 30°W | 0,053589 |
| LSAP | Posición latitudinal del anticiclón subtropical del Pacífico Sur | -0,223295 |

Se destaca la significativa asociación entre la temperatura superficial del mar (SST del área El Niño 3+4) y factores de circulación que originan la precipitación en la cuenca del río San Juan.

La validación espacial de las correlaciones descritas se realizan con datos del Renalysis I a continuación.

La Figura 6 muestra las isocorrelaciones entre las temperaturas superficiales del mar en el periodo abril-septiembre asociadas con los caudales del río San Juan en el lapso octubre-marzo, se nota que hay una correlación muy significativa con el área Niño3+4, confirmando lo encontrado por otros autores (Troup, 1965; Rasmusson y Wallace, 1983; Aceituno, 1987; Poblete y Sánchez, 2000; Poblete y Minetti, 2003). También se observa una asociación directa pero más débil entre la temperatura del mar en el Atlántico Sur, que confirma la asociación encontrada con la temperatura media de Río de Janeiro (véase TRIO en Cuadro I y Figura 5). Nótese que en el Pacífico Sur adyacente a las costas patagónicas fueguinas la correlación es inversa, es decir que cuando los derrames son altos, las SST están frías en ese sector.

La Figura 7 muestra la correlación entre ATSGO, que estima la actividad del anticiclón del Pacífico Sur, con la precipitación en el área de estudio. Se observa una asociación inversa muy significativa entre ambos. Esto no sólo indica la intensidad, sino también la expansión del anticiclón sobre el norte de la Patagonia con el respectivo desplazamiento de las depresiones, vaguadas y frentes hacia el sur en situaciones de sequía y viceversa en la fase opuesta. Al igual que ATSGO, el índice PSGO tiene una correlación inversa significativa mostrada en la Figura 8. Esto confirma lo hallado anteriormente, aunque las áreas de asociación tienen algunas diferencias significativas, las cuales radican en que la PSGO tiene una incidencia directa a lo largo de toda la Cordillera Central sobre Chile, mientras que la ATSGO expande la correlación sobre el norte de Patagonia y el Océano Atlántico Sur. Esto se debería al impacto del amplitud térmica de Santiago sobre la nubosidad y por carácter transitivo con la precipitación (Minetti *et al.*, 2012).

La correlación negativa y significativa entre la precipitación del área de estudio y el índice de circulación zonal austral (ICZA), mostrada en la Figura 5 y Cuadro 1, es corroborada espacialmente en la Figura 8, que indica que “oestes más activos” en altas latitudes hacen que el anticiclón del Pacífico se intensifique y extienda, interfiriendo en el desplazamiento de los mecanismos de precipitación en latitudes medias y bajas (Poblete A.G., 2012); por el contrario, “oestes débiles” inducirían mayor actividad depresionaria en latitudes altas que, a su vez, generarían mayores precipitaciones en las mismas (Rex, 1950; Grandoso y Nuñez, 1955; Arkin, 1982; Minetti *et al.*, 1990; Garreaud y Battisti, 1999).

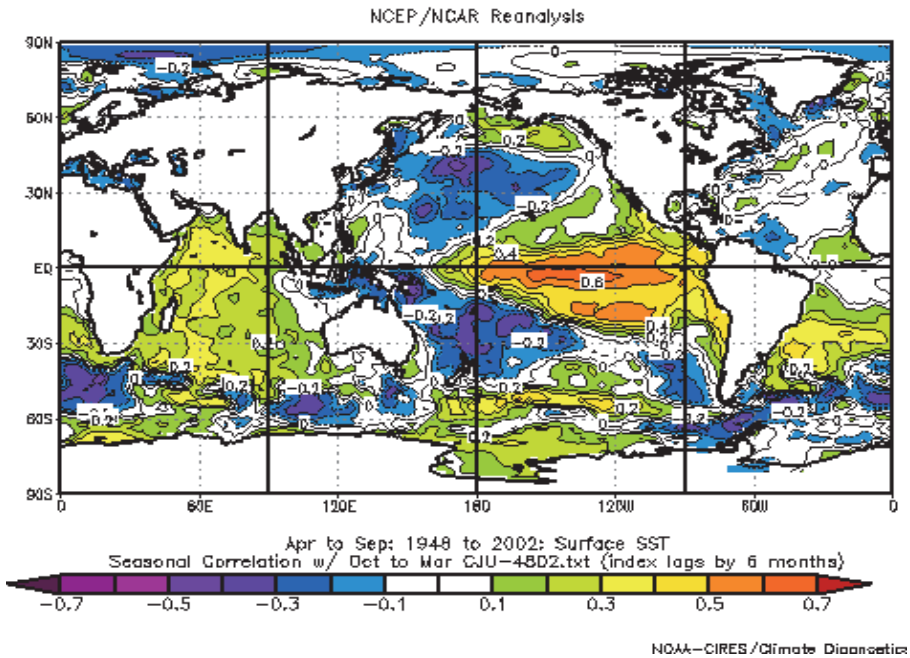


Figura 6. Caudales del río San Juan entre octubre y marzo correlacionados con la temperatura superficial del mar (SST) en abril-septiembre.

En la Figura 9 se muestra la isocorrelación entre la presión atmosférica en Buenos Aires (PBUE) con las precipitaciones en el área de estudio. Se confirma la asociación inversa encontrada, puesto que una alta presión en el entorno del Río de La Plata inhibe la precipitación en toda el área subtropical del Hemisferio Sur. Por otra parte presiones elevadas sobre la zona continental de Argentina (PCBA) (véase Figura 10) están asociadas con disminuciones en las precipitaciones sobre la Cordillera Central al bloquear la actividad depresionaria sobre Chile central y norte.

El ICZA (Figura 11) muestra lo esperado, con aumento en la precipitación frente a un incremento de la circulación del oeste sobre Chile (barlovento) y disminución de ésta a sotavento. Esta reducción a sotavento que regula a esta porción de la Diagonal Árida Sudamericana se extiende en la zona central y norte de la Cordillera. La correlación inversa entre la circulación zonal austral y central en Cuyo, puede verse en dicha figura. Esta variable junto con la ATSGO y la PSGO serían los principales diagnosticadores de las precipitaciones en el sector tratado.

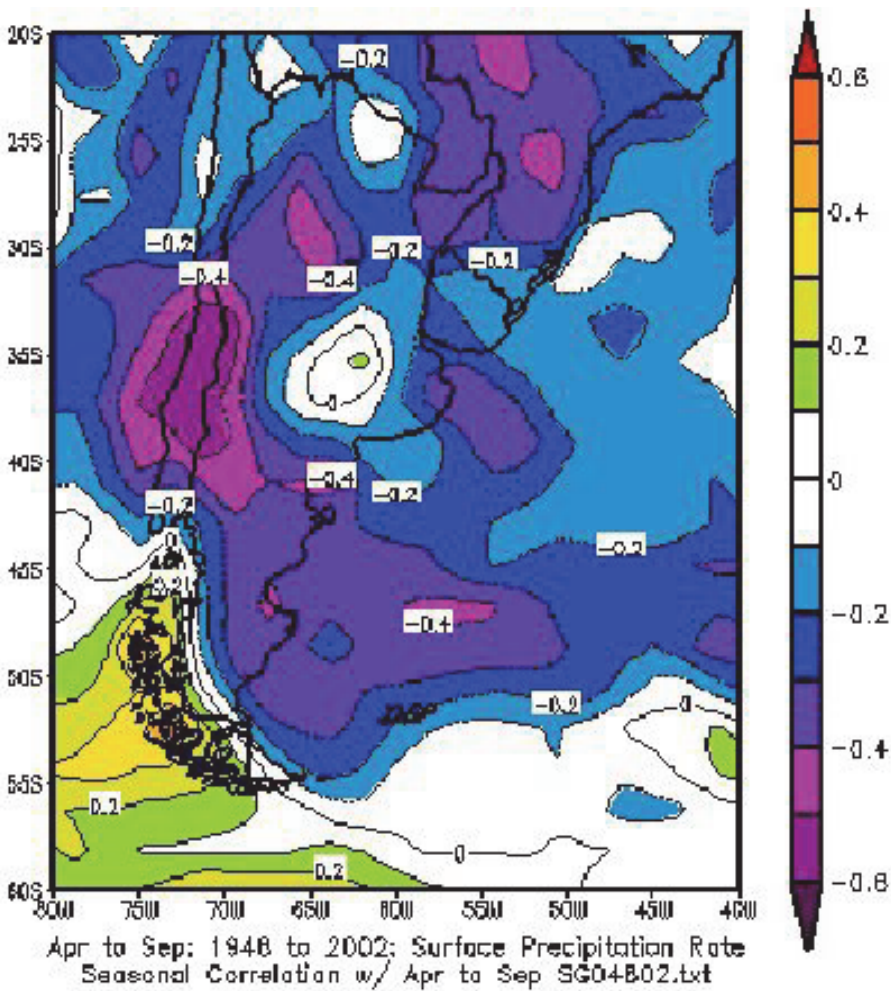


Figura 7. Isocorrelaciones entre la amplitud térmica de Santiago de Chile (ATSGO) y el ratio de precipitación en el área de estudio, en el periodo abril-septiembre.

La PDO está correlacionada directamente ($r= 0.37$) con la caída de nieve en la cuenca, observándose un incremento de esta correlación con precipitaciones más al norte de ésta en La Puna. Aunque los valores de la misma son más bajos en general, se recuerda que esta variable está representando indirectamente a los cambios lentos del ENSO y, por lo tanto, a la mayor parte de la variabilidad de las altas frecuencias de las precipitaciones, por lo que quedarían, de hecho, excluidas en ésta asociación.

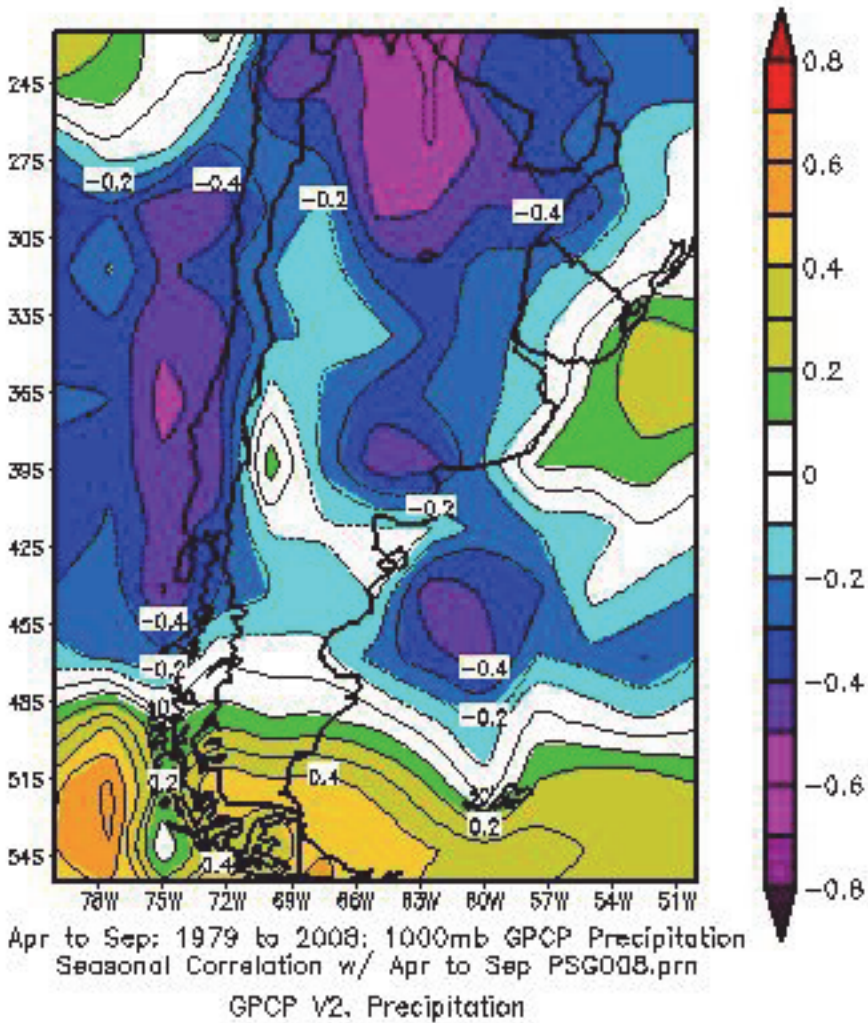


Figura 8. Isocorrelaciones entre la Presión Atmosférica en Santiago (PSGO) y el ratio de precipitación en el área de estudio, en el periodo abril-septiembre.

La Figura 12 ratifica parcialmente, desde el punto de vista areal, la asociación directa entre la temperatura mínima de San Miguel de Tucumán (TISMT, $r = 0.30$), que estima la naturaleza de las masas de aire en el NOA y su posible tránsito hasta la región de estudio y las precipitaciones del periodo abril-septiembre.

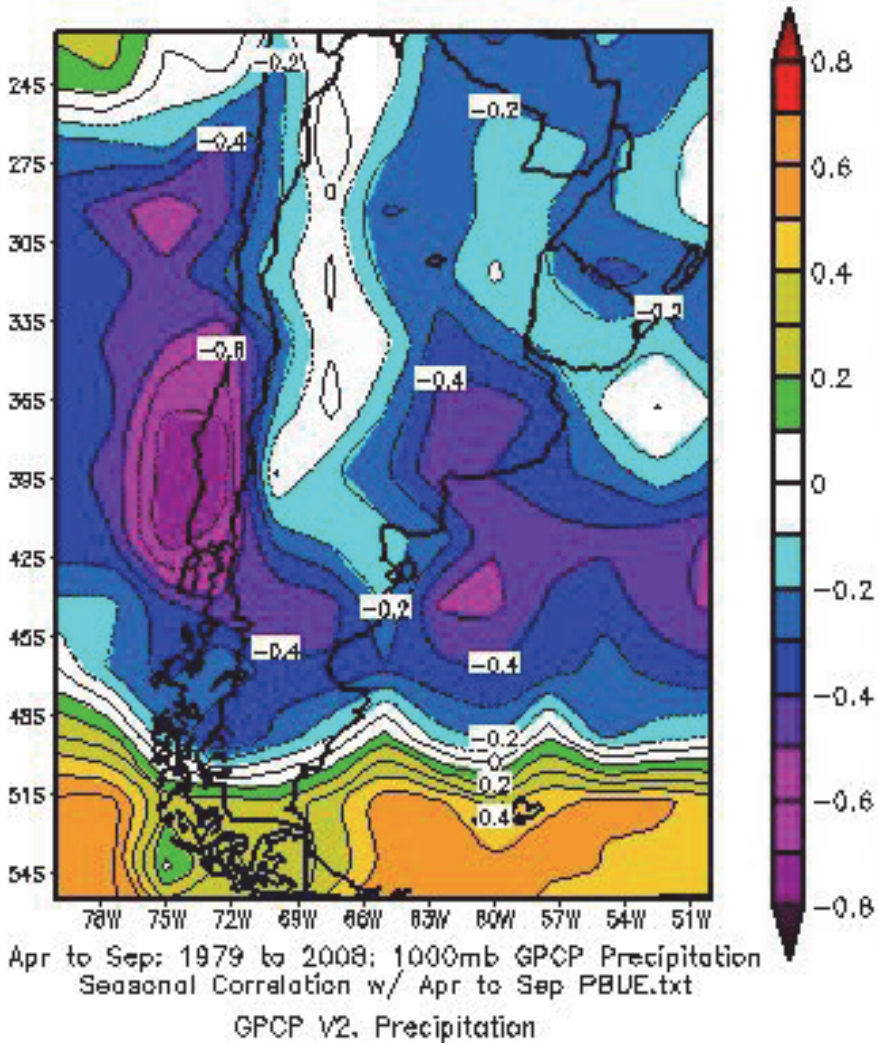


Figura 9. Isocorrelaciones entre PBUE y las precipitaciones en el periodo abril-septiembre.

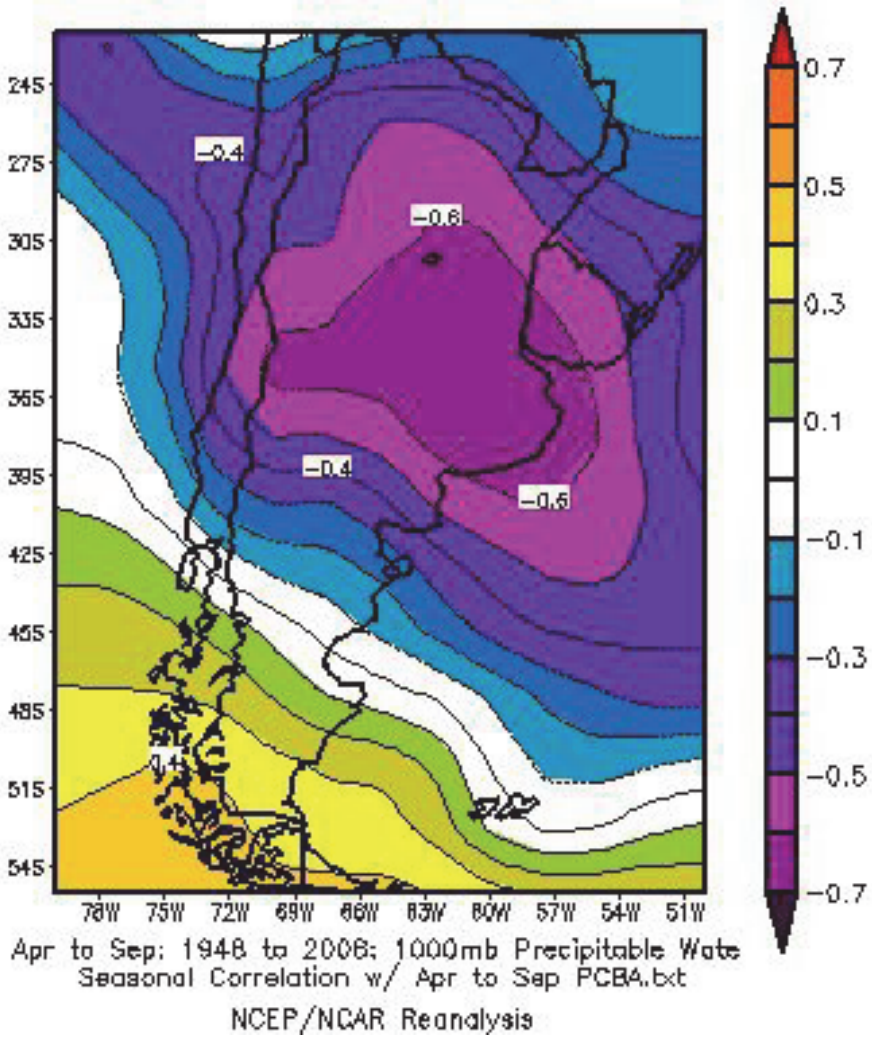


Figura 10. Isocorrelaciones entre el PCBA y las precipitaciones en el periodo abril-septiembre.

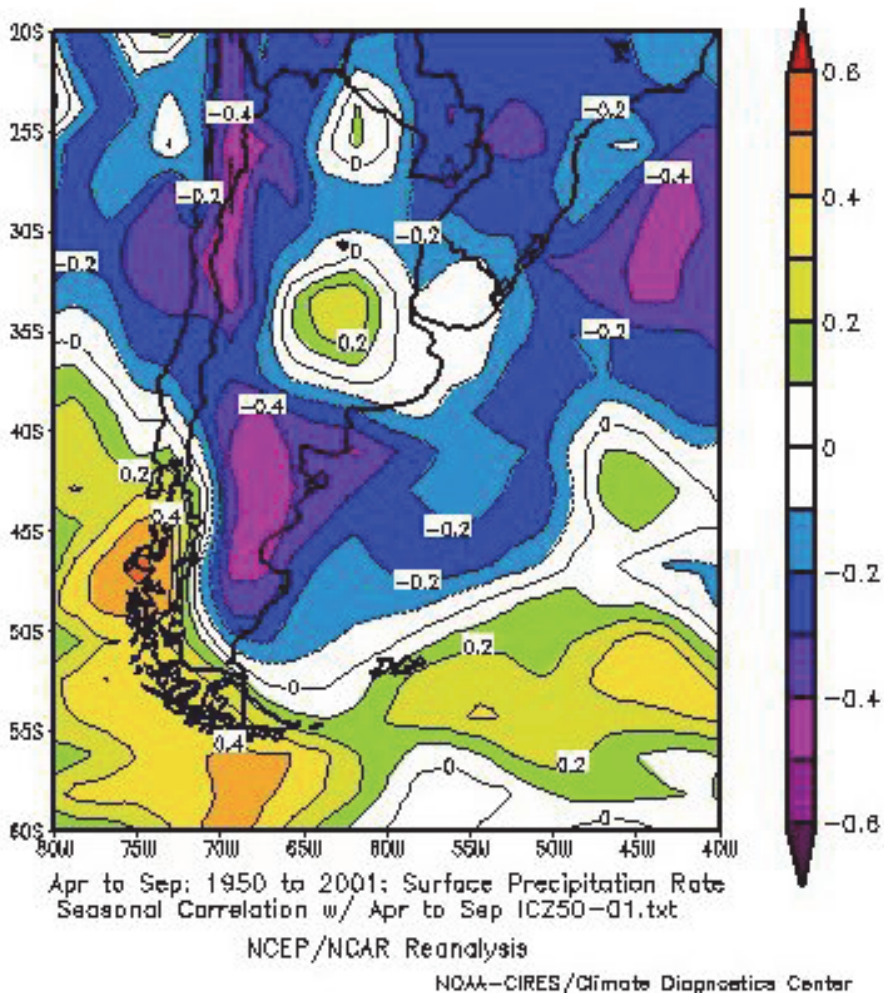
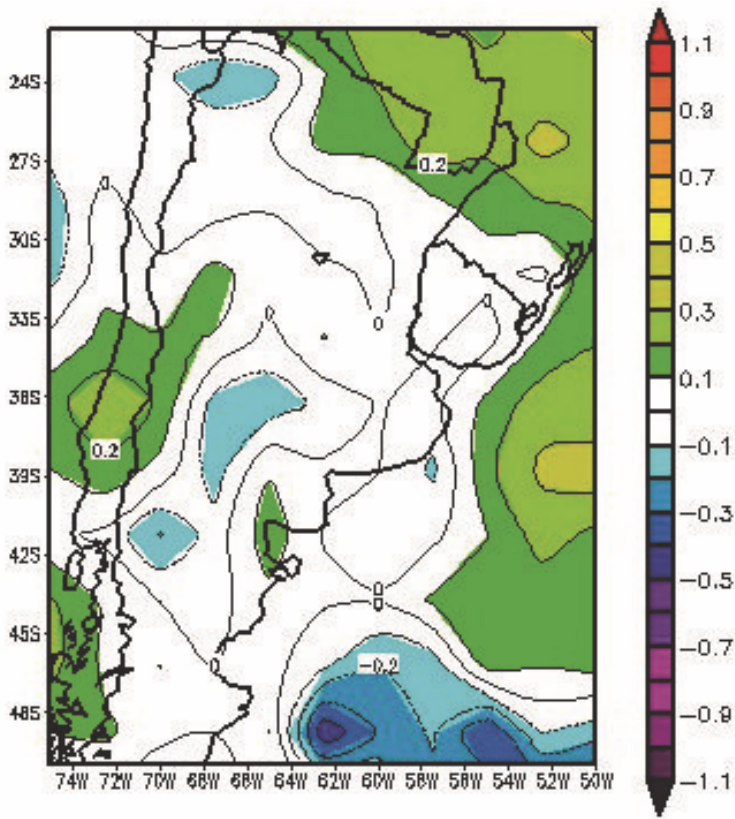


Figura 11. Isocorrelaciones entre el ICZA (que mide a los vientos constantes del Oeste) y el ratio de precipitación, en el periodo abril-septiembre.



Apr to Sep; 1979 to 2008; 1000mb CMAP Precipitation (Standard)
Seasonal Correlation w/ Apr to Sep TISMT4B08.txt
CMAP Standard Precipitation

Figura 12. Isocorrelaciones entre la temperatura mínima de San Miguel de Tucumán y las precipitaciones del periodo abril-septiembre.

Conclusiones

Se confirmó la gran influencia que tienen las SST del océano Pacífico Ecuatorial (área Niño 3+4) sobre la hidroclimatología de los Andes Centrales (específicamente en la cuenca del río San Juan) en el periodo abril-septiembre.

También se verificó que el anticiclón del Pacífico Sur es el factor que le sigue en importancia al anterior, puesto que expandido/debilitado inhibe/propicia las precipitaciones en los Andes Centrales y su entorno. Esto puede estimarse mediante índices como la PSGO, ATSGO y PBUE.

El tercer factor relevante es el comportamiento de la intensidad de los westerlies evaluados por el ICZA, que tienen una relación inversa con las precipitaciones en la región estudiada, debido a la asociación indirecta con el flujo zonal del oeste en latitudes altas y medias.

También existe una correlación directa entre la PDO y la caída de nieve, lo que resulta de una teleconexión entre las condiciones lejanas de la temperatura del Océano Pacífico norte. La misma debería ser analizada en función de las correlaciones por frecuencia de oscilación, ya que el valor PDO es de por sí una variable que representa la variabilidad baja del espectro. Este aspecto no se ha tratado en este trabajo, pero sí en otro artículo de los autores.

Un Océano Atlántico caliente favorece las precipitaciones pero de manera débil, al igual que las temperaturas mínimas del NOA, y no representan asociaciones importantes para el diagnóstico.

Se verificó la utilidad del Reanalysis I para discriminar arealmente los mecanismos precipitantes que influyen en la hidroclimatología de las cuencas de los ríos cordilleranos de los Andes Centrales.

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.

También agradecemos a 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.

Al Laboratorio Climatológico Sudamericano (LCS), Secretaría de Energía por los datos proporcionados para esta investigación. También se agradece al NCEP/ENCAR y la NOAA por los datos del Reanalysis y su tratamiento.

Bibliografía

- Abetti, G., *El Sol*, Manuales de Eudeba, 1952, 315 pp.
- Aceituno, P.A., *On the interannual variability of South American climate and Southern Oscillation*, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin, Madison, 1987.
- Arkin, P.A., "The relationship between interannual variability in the 200 mb tropical wind field and the Southern Oscillation", *Monthly Weather Review*, no. 110, pp. 1393-1404, 1982.
- Baldwin, M.; L., Gray; T., Dunkerton; K., Hamilton; P., Haynes; W., Randel, J., Holton; M., Alexander; I., Hirota; T., Horinouchi; D., Jones; J., Kinnerson; C., Marquardt; K. Sato y M. Takahashi, "The Quasi-biennial oscillation", *Review of Geophysics*, no. 39, pp. 179-229, 2001.

- Benitez, G.A. y F.H. King, "El ecosistema chileno: comportamiento del ciclo hidrológico en el centro de Chile", Jornadas del agua y el futuro regional de Mendoza, Gobierno de Mendoza, Argentina, Actas de la reunión, 1977.
- Bruniard, E.D., "La diagonal árida argentina: un límite climático real", *Revista Geográfica*, núm. 95, pp. 5-20, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 1982.
- Bruniard, E. y C. Moro, *Los regímenes fluviales de alimentación sólida en la República Argentina*, Academia Nacional de Geografía, Buenos Aires, 1990, 81 pp.
- Draper N.R. y H. Smith, *Applied Regression Analysis*, Wiley, New York, 1976, 186 pp.
- Enfield, D.B.; A.M., Mestas; D.A., Mayer and L. Cid-Serrano, "How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures?", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, no. 104, pp. 7841-7848, 1999.
- Garreaud R.D. y Battisti, D.S., "Interannual (ENSO) and interdecadal (ENSO-like) variability in the Southern Hemisphere tropospheric circulation", *Journal of Climate*, no. 12, pp. 2113-2123, 1999.
- Gong, D.Y. y S.W. Wang, "Antarctic Oscillation: concept and applications", *Chinese Science Bulletin*, no. 43, pp. 734-738, 1998.
- Grandoso, H.N. y J.E.Nuñez, "Análisis de una situación de bloqueo en la parte austral de América del Sur", *Meteoros*, núms. 1-2, pp. 35-54, Buenos Aires, 1955.
- Hammond, R., Mc Cullagh, P., *Técnicas cuantitativas en geografía*, Editorial Saltes, Madrid, 1974, 145 pp.
- Jones, P.D., Jonsson, T. y Wheeler, D., "Extension to the North Atlantic oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland", in *International Journal Climatology*, vol. 17, pp.1433-1450, 1997.
- Lupano, C.F., "La cuenca del río San Juan", Subsecretaría de Recursos Hídricos de la República Argentina. Disponible en: <www.hidricosargentina.gov.ar> del INDEC, Buenos Aires, 2008.
- Mantua, N.J., "Pacific-Decadal Oscillation (PDO)", pp. 592-594, in *Encyclopedia of Global Environmental Change*, vol. 1, The Earth system: Physical and chemical dimensions of global environmental change, J.Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2001.
- Menegazzo, M.I.; J.L., Minetti; M.C., Carletto y P.M., Barbieri, "Régimen de variabilidad estacional y aperiódico de los escurrimientos superficiales de ríos andinos", *Revista de Geofísica*, vol. 41, pp. 159-176, Madrid, 1984.
- Minetti, J.L., "Precipitación y escurrimientos superficiales de ríos Andinos", *GEOACTA*, núm. 13, pp. 167-179, Buenos Aires, 1985.
- Minetti, J.L.; S.M., Radicella; M.I., Menegazzo y J.C., Sal Paz, "La actividad anticiclónica y las precipitaciones en Chile y en la zona cordillerana Central Andina"

- na”, *Revista de Geofísica*, núm. 16, pp. 145-157, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 1982.
- Minetti, J.L.; W.M., Vargas y A.G., Poblete, “La perturbación en la circulación zonal, que originaría el subcontinente sudamericano”, *Revista de Geofísica*, núm. 33, pp. 161-178, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 1990.
- , “Comportamiento intraestacional e interanual del borde oriental del Anticiclón del Pacífico Sur”, *Revista de Geofísica*, núm. 38, pp. 79-89, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 1993.
- Minetti, J.L. y E.M. Sierra, “The influence of general circulation patterns on humid and dry years in the Cuyo Andean region of Argentina”, *International Journal of Climatology*, núm. 9, pp. 55-68, 1989.
- Minetti, J.L.; G., Naumann; W.M., Vargas y A.G., Poblete, “Las sequías en el largo plazo y sus precursores invernales”, *Revista de Geografía*, núm. 12, pp. 26-37, IGA-UNSJ, San Juan, 2008.
- Minetti, J.L.; W.M., Vargas; A.G., Poblete y E.A., Mendoza, “Latitudinal positioning of the subtropical anticyclone along the Chilean coast”, *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, núm. 58, pp. 107-117, Australia, 2009.
- Minetti, J.L.; W.M., Vargas; A.G., Poblete y M.E., Bobba, “Regional drought in the Southern of South America-Physical aspects”, *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 25, no. 1, pp. 88-102, 2010.
- Minetti, J.L.; W.M., Vargas; A.G., Poblete; L.R., de la Zerda y L.R., Acuña, “Regional drought in southern South America”, *Theoretical Applied Climatology*, vol. 102, pp. 403-415, Springer-Verlag, 2010.
- Minetti, J.L.; A.G., Poblete; W.M., Vargas y D.P., Ovejero, “Fluctuaciones de baja frecuencia en el clima y cambio climático”, *El clima de Bolivia*, Ed. Minetti, 2012, 316 pp.
- Poblete, A.G., “Circulación atmosférica regional sudamericana y cupla océano-atmósfera. Su influencia sobre la precipitación en las cuencas de los ríos andinos de Argentina y Chile”, *Jornadas de Ciencia y Técnica en la UNSJ*, CD, San Juan, 2010.
- Poblete, A.G.; J.L., Minetti y E.M., Sierra, “La influencia del régimen hídrico andino-puneño en el oasis del noroeste argentino y Cuyo”, *Revista de Geofísica*, núm. 30, pp. 137-149, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 1989.
- Poblete, A.G. y G., Sánchez, “Análisis de la posible asociación entre los derrames anuales del río San Juan y el fenómeno de El Niño/La Niña”, *Revista de Geografía*, núm. 4, pp. 32-46, IGA-UNSJ, San Juan, 2000.
- Poblete, A.G.; J.L., Minetti y G. del V., Sánchez, “Análisis de la variabilidad interanual de los ríos andinos de Cuyo y del Comahue con métodos multivariantes”,

- libro electrónico del IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y VIII Congreso Argentino de Meteorólogos, Buenos Aires 11 al 17 de mayo de 2001.
- Poblete, A.G. y Minetti, J.L., “Asociación entre cuantificadores del ENSO e índices de circulación atmosférica regional con el derrame del río San Juan”, *Revista de Geografía*, núm. 7, pp. 26-33, IGA-UNSJ, San Juan, 2003.
- Poblete, A.G.; Minetti, J.L. y W., Vargas, “Teleconexiones entre índices de circulación atmosférico-oceánico con los derrames anuales de los ríos de Cuyo y Comahue”, *Anales del IX Congreso Argentino de Meteorología*, CAM, Buenos Aires, 3-7 de octubre, 2005.
- Poblete, A.G.; J.L., Minetti y V., Valdez, “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*, núm. 12, pp. 53-62, San Juan, 2008.
- Quintana, J.M. y Aceituno, P., “Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S”, *Atmósfera*, vol. 25, núm. 1, pp. 1-22, Mexico, 2012.
- Rasmusson, E.M. y J.M., Wallace, “Meteorological aspects of El Niño/Southern Oscillation”, *Science*, vol. 222, no. 4629, pp. 1195-1202, 1983.
- Rex, D.F., “Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate”, *Tellus*, vol. 2, no. 3, 1950.
- Schlesinger, M.E., “An oscillation in the global climate system of period 65-70 years”, *Nature*, no. 367, pp. 723-726, 1994.
- Smith, T.M., y Reynolds, R.W., “Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854-1997)”, *Journal of Climate*, vol. 16, no. 10, pp. 1495-1510, 2003.
- Troup, A.J., “The Southern Oscillation”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, no. 91, pp. 490-506, 1965.
- Vargas, W.M.; J.L., Minetti y A.G., Poblete, “Statistical study of climatic jump in the regional zonal circulation over South America”, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, no. 73, pp. 849-856, 1995.