

Boletín de Estudios Geográficos  
n. 107, enero-junio 2017, pp. 9-20

# ORIGEN Y VARIABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DE LOS PRINCIPALES OASIS DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN

## ORIGIN AND VARIABILITY OF HIDRIC RESOURCES IN THE MAIN OASIS OF SAN JUAN PROVINCE

**Arnobio Germán Poblete**

**Mariela Carina Hryciw**

Instituto de Geografía Aplicada de la Universidad Nacional de San Juan

### Resumen

Este trabajo se encuadra en la hidroclimatología aplicada, teniendo como propósito conocer el origen y variabilidad del recurso hídrico que hace posible la existencia de los oasis sanjuaninos. El trabajo tuvo como motivación la última sequía registrada en los Andes Áridos, que repercutió negativamente en la producción agropecuaria y otras actividades socioeconómicas.

Se analizan los ríos, con régimen nival de alta montaña, asociados a los oasis de Jáchal-Huaco, Tulum-Ullum-Zonda y secundariamente de Iglesia y Calingasta; la hipótesis es que dicha variabilidad repercute fuertemente en la población por lo que se deben instrumentar políticas que aseguren la regularidad y sustentabilidad de los mismos en el tiempo.

Se emplearon métodos estadísticos de correlación lineal, no lineal y de estimación de la tendencia que permitieron detectar y cuantificar la gran variabilidad interanual de los ríos, justificando la construcción de embalses para el óptimo aprovechamiento hídrico y de esa manera instrumentar previsiones sobre su futuro comportamiento. Además se muestra la aplicabilidad de metodologías objetivas para la investigación geográfica.

**Palabras Claves:** Oasis, Recurso Hídrico, Andes Áridos, San Juan.

### Abstract

The goal of this study is to know the origin and variability of hidric resources in the main oasis San Juan, having as a frame the applied hydroclimatology. The work was motivated by the recent drought in the Arid Andes and its negative impact on agricultural production and other socioeconomic activities.

Rivers with high mountain nival regime, associated with the oasis of Jáchal-Huaco, Ullum-Zonda-Tulum and secondarily of Iglesia and Calingasta are analyzed. The hypothesis is that variability strongly affects the population and, because of this, policies to ensure regularity and sustainability should be implemented.

In order to detect and quantify the variability of rivers among years, statistical methods including linear and non-linear correlations and estimation of trends were used. Our results suggest the construction of dams for optimal water use and thereby the forecast implementation forecasts about their future behavior. Furthermore, this study shows the applicability of objective methods for geographical research.

**Key words:** Oasis, hidric resources, Arid Andes, San Juan

---

Recibido: 18/09/2016 Aceptado: 02/11/2016

## INTRODUCCIÓN

La última sequía registrada en los Andes Áridos repercutió negativamente en la producción agropecuaria y otras actividades socioeconómicas de los oasis de regadío de la región de Cuyo dando lugar a diversos estudios con enfoques diferentes respecto del origen de aquella. En ese marco este trabajo se propone analizar los escurrimientos de los ríos, con régimen nival de alta montaña, que hacen posible la existencia de los oasis de Jáchal-Huaco, Tulum-Ullum-Zonda y secundariamente los ubicados en los departamentos de Iglesia y Calingasta. Con esta evaluación se pretende generar conocimientos que sirvan de base física para mitigar los efectos de la sequía y realizar previsiones más fiables (figura 1).

En los últimos setenta años la provincia soportó el rigor hidroclimático en sus dos manifestaciones más extremas. Por un lado, la sequía, cuyos eventos más significativos por suduración y repercusión ocurrieron entre los años 1968 -1971 (Poblete e Iranzo, 2012) y 2010-2014 con su impacto adverso en la agricultura y disponibilidad de energía hidroeléctrica. Por otro, los excesos, que fueron episódicos y de menor duración como los derrames de principios de siglo XX y más recientemente los de 1982-83, 1987, 1997 y 2005, provocando crecidas que en algunos casos destruyeron rutas y puentes.

La cantidad de investigaciones realizadas en ese marco fue trascendente, poniendo en relieve la necesidad de contar con embalses (ver figura 1) para salvar dicha irregularidad, de donde surgió la decisión de construir: en el río Jáchal el de Cuesta del Viento, presa hidroeléctrica inaugurada en el año 2000; en el río San Juan la

represa Los Caracoles, obra hidroeléctrica construida en su cauce medio e inaugurada en 2008 siendo la más alta de Argentina;

Punta Negra, represa hidroeléctrica, puesta en servicio en 2015; el embalse Quebrada de Ullum, el más importante por su almacenamiento de agua para regadío, generación de hidroelectricidad e infraestructura turística, que opera desde 1980. También, la represa El Tambolar en etapa de construcción de su túnel de desvío en el curso superior del río San Juan y proyectado el embalse EL Horcajo en las Juntas (confluencia de los ríos Blanco y Los Patos).

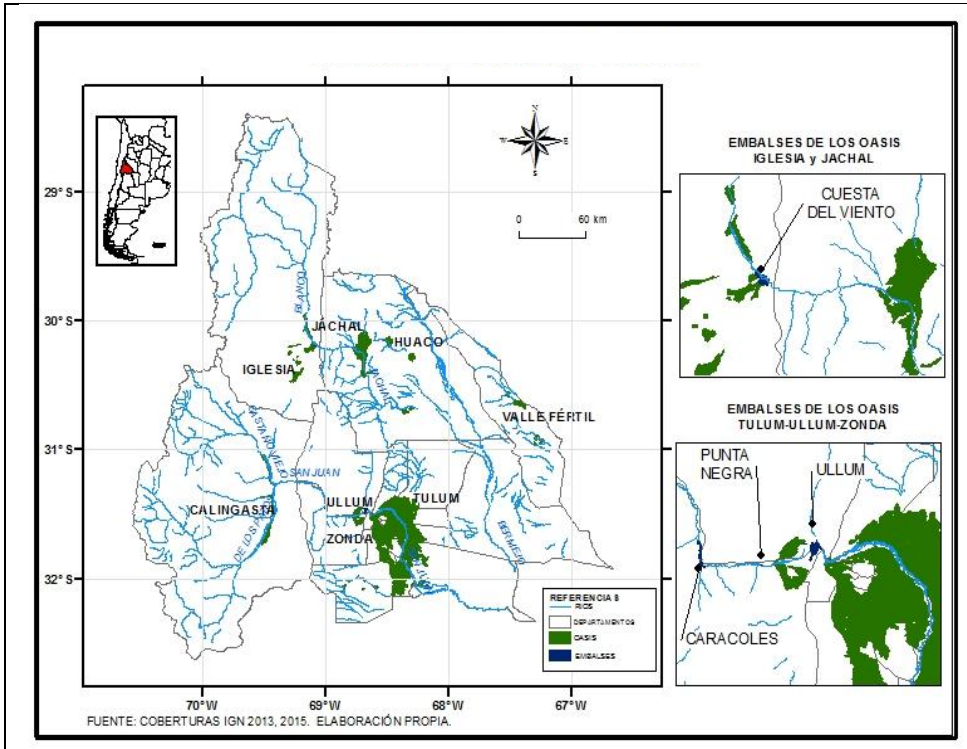
Los extremos (sequías-excesos) del recurso hídrico incidieron significativamente en el principal factor de desarrollo socioeconómico: la actividad agropecuaria intensiva que se practica en los oasis de San Juan (cuya magnitud relativa se observa en las figuras 2a y b) y que dependen esencialmente del agua que aportan los ríos Jáchal y San Juan, cuyas cuencas se localizan en la cordillera y por lo tanto tienen un régimen nival de alta montaña.

En el caso de los oasis menores, el regadío se implementa de la siguiente manera: Calingasta desde los afluentes del río San Juan (Los Patos, Castaño y Calingasta), el de Iglesia fundamentalmente de manantiales con aportes subterráneos provenientes del recurso hídrico cordillerano a los que se suma el Arroyo de Agua Negra que discurre paralelo a la ruta internacional en dirección a la localidad de Las Flores ya que el río Iglesia fluye en un desfiladero adyacente a la Precordillera al este de la superficie cultivada. Mientras que los oasis de Valle Fértil no se incluyen en el análisis debido a que sus ríos son de régimen torrencial y dependen de las precipitaciones estivales.

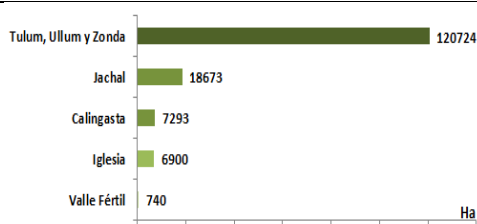
Por lo expuesto y sumado a la reciente sequía que se produjo en el periodo 2010-14 (semejante a la registrada entre 1968-71) este trabajo tiene como objetivo principal analizar con métodos estadísticos específicos la variabilidad temporal de los ríos Jáchal y San Juan y verificar su asociación con los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation). De esta manera, se podrá contar con una base físico-climatológica que permita disponer de conocimientos suficientes para el manejo y sistematización del aprovechamiento hídrico citado en sus respectivos oasis. Esta base posibilitará instrumentar previsiones sobre su futuro comportamiento para así esclarecerla incertidumbre que impera en los ambientes agropecuarios y la sociedad en general.

Además, el trabajo representa un aporte metodológico para la investigación geográfica.

**Figura 1. Oasis de la provincia de San Juan con sus ríos y embalses asociados.**

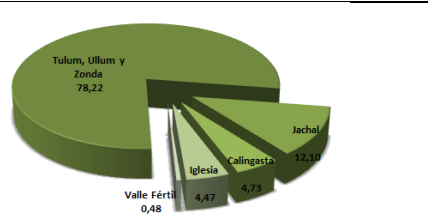


**Figura 2a. Cantidad de Ha empadronadas para riego en los oasis de San Juan.**



Fuente: Departamento de Hidráulica, 2013.

**Figura 2b. Porcentaje de Ha cultivadas en los oasis de San Juan.**



Fuente: Departamento de Hidráulica, 2013.

## DATOS Y MÉTODOS

Para evaluar si existe correlación entre los volúmenes y la variabilidad interanual de los derrames de los ríos, se utilizaron el coeficiente de correlación de Pearson (Draper et al., 1976) y las pruebas no paramétricas de Spearman y Mann-Kendall (Siegel y Castellan, 1988).

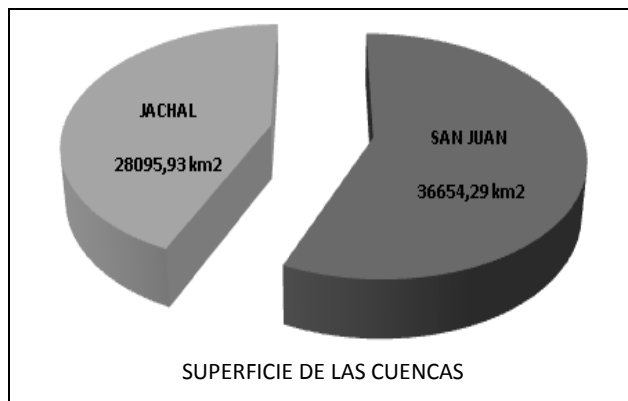
Para estimar la significación de la tendencia de las series temporales también se aplicaron los test de y las pruebas no paramétricas de Spearman y Mann-Kendall (Siegel y Castellan, 1988).

El ajuste polinómico por MCO (Mínimos Cuadrados Ordinarios) se utilizó para realizar el suavizado de la series y la regresión no lineal para estimar la relación entre los ríos analizados (Weisstein Eric, 2012)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

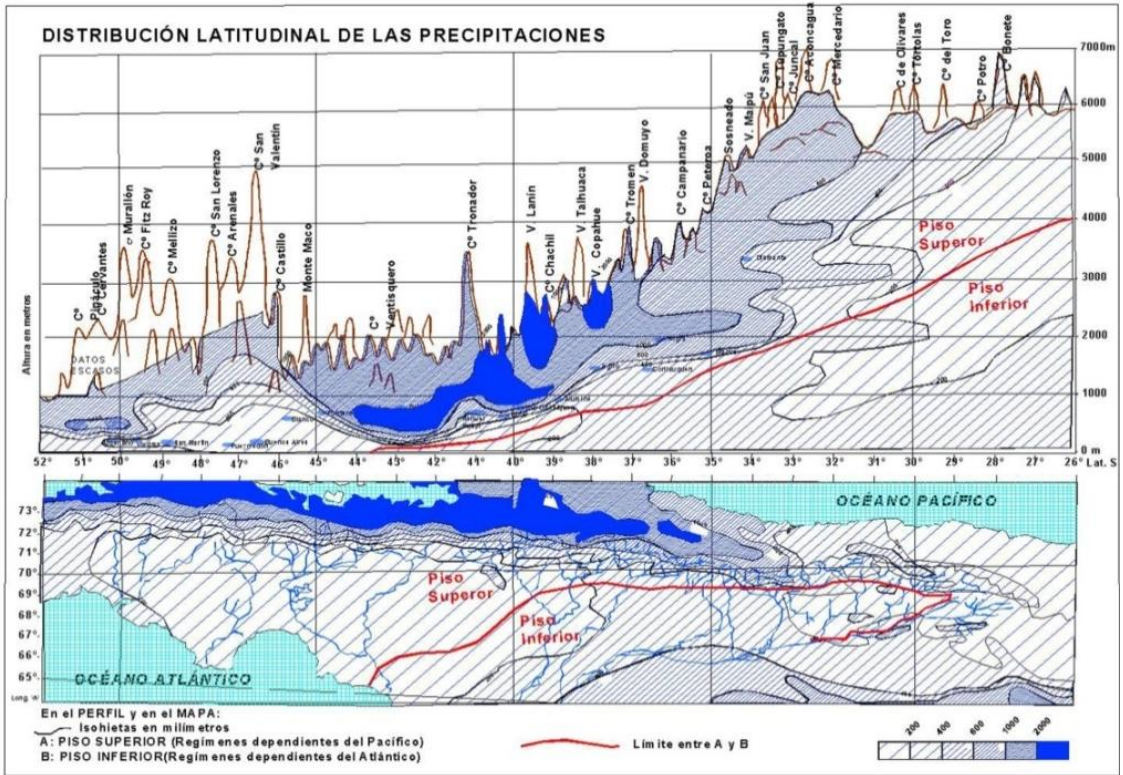
Las cuencas de los ríos San Juan (36.654,29 km<sup>2</sup>) y Jáchal (28.095,93 km<sup>2</sup>) (figura 3), se encuentran enclavadas en las estribaciones ubicadas en los pisos superior, medio e inferior de los Andes Áridos, hecho muy relevante para explicar sus diferencias, especialmente en el monto de sus derrames anuales, puesto que los mismos dependen del régimen de precipitaciones pacífico (nival de alta montaña) y parcialmente del atlántico (nivopluvial) respectivamente (figura 4).

**Figura 3. Superficie de las cuencas de los ríos San Juan y Jáchal en Km<sup>2</sup>**



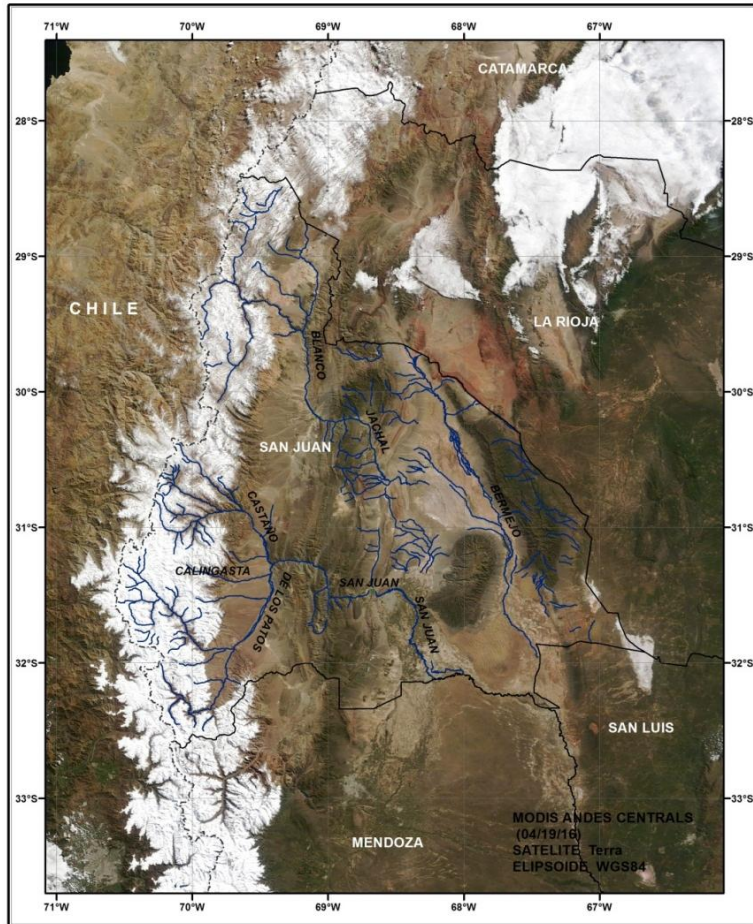
Fuente: elaboración propia

Figura 4. Distribución latialtitudinal de las precipitaciones



En el piso superior adquiere mayor importancia la condición necesaria para la caída de nieve que es la disponibilidad de agua precipitable dependiente de factores tales como la temperatura del océano Pacífico y/o del transporte de aquella de regiones adyacentes a la ICTZ (Zona de Convergencia Intertropical) realizado por la inflexión del Jet Stream, conformando lo que se denomina “Río Atmosférico” entre otros; y la condición suficiente que son los mecanismos precipitantes tales como: vaguadas, bajas segregadas y/o frentes en superficie, entre otros, provenientes del suroeste en su mayoría, especialmente en invierno. En el piso inferior, las condiciones antes mencionadas son menos relevantes ya que por la distancia y la altura (condición latialtitudinal del decrecimiento) los procesos precipitantes van disminuyendo en su avance hacia la cuenca del río Jáchal adquiriendo una mayor significación relativa los agentes provenientes del Atlántico, principalmente en verano (Poblete et. al., 2013).

**Figura 5. Cuencas con sus afluentes como colectores de la ablación nival**



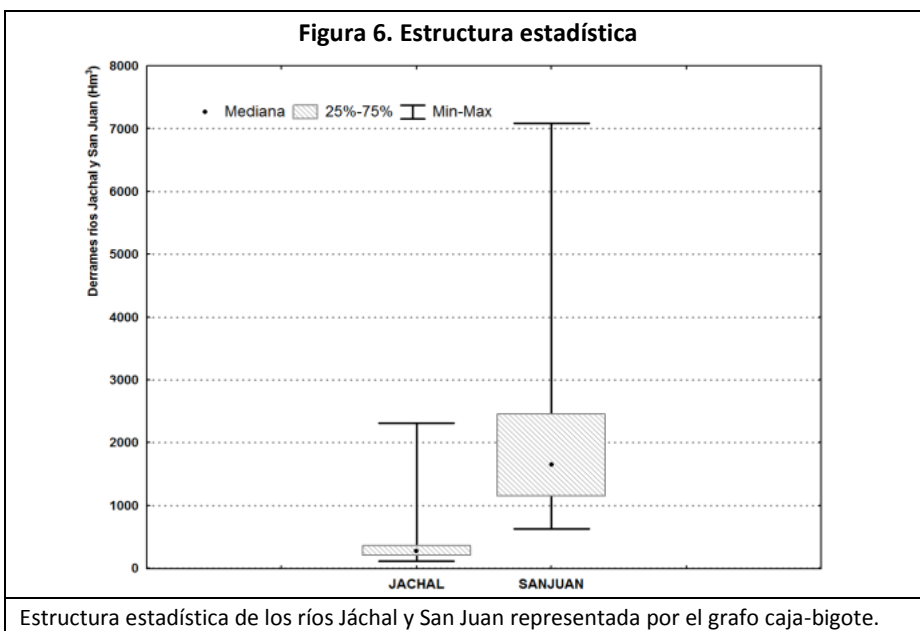
Cuencas imbríferas de los ríos Jáchal y San Juan con sus afluentes como colectores de la ablación nival. Su cobertura es semejante a la condición media de la precipitación nival.

En la figura 5, utilizada como ejemplo de la condición media, se aprecia la red hidrográfica generada por la ablación de la cobertura nival que confirma lo antedicho sobre la disminución sur-norte (dirección que impone la cordillera) de la cantidad de nieve acumulada que provee diferencialmente el recurso hídrico a los ríos San Juan-Jáchal respectivamente y que se ve reflejada en la marcada diferencia de sus derrames.

**Tabla 1. Estadísticos de los derrames anuales de los ríos Jáchal y San Juan.**

	N	MEDIA	MEDIANA	MINIMO	MAXIMO	1ER CUART	3ER CUART	PERC 10	PERC 90	DESV STD
JACHAL	106	349,771	272,750	117,2000	2312,728	202,468	364,400	184,900	518,730	297,186
SAN JUAN	106	2005,658	1649,500	625,2000	7091,000	1146,000	2460,00	943,900	3713,000	1198,173

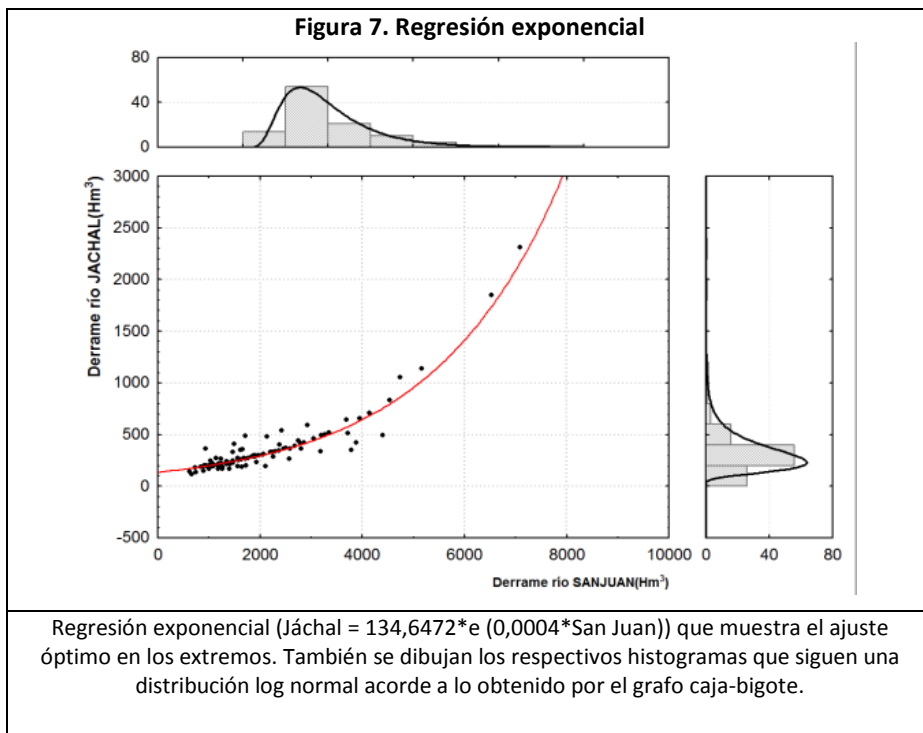
La tabla 1 resume los estadísticos básicos de los ríos en estudio. El menor volumen del río Jáchal se debe a que se encuentra más alejado respecto del advenimiento de los factores precipitantes, como ya se dijo. Sin embargo la correlación entre ambos es altamente significativa ( $r_{\text{Pearson}} = 0,872$  sigfal 99%) lo que resulta coherente con los orígenes físicos y dinámicos semejantes de sus derrames, es decir que son semejantes en la variabilidad interanual. Esto es confirmado por los test no paramétricos de Spearman ( $r_{\text{spearman}}=0,860$ ) y Kendall ( $T_{\text{Kendall}}=0,714$ ) ambos significativos al 95%.



En la figura 6 se grafica la estructura estadística de los ríos, observándose que tienen un significativo sesgo a la derecha que indica la fuerte incidencia de los excesos



episódicos, como se verá a continuación, confirmado por el ajuste a la distribución log normal de ambos (figura 7), resultando más adecuado para representar sus volúmenes promedios el valor de la frecuencia acumulada hasta el 50% de dicha distribución que para el río San Juan es de 1784,32 Hm<sup>3</sup> y para el río Jáchal 283,32 Hm<sup>3</sup>, en vez de la mediana y la media.



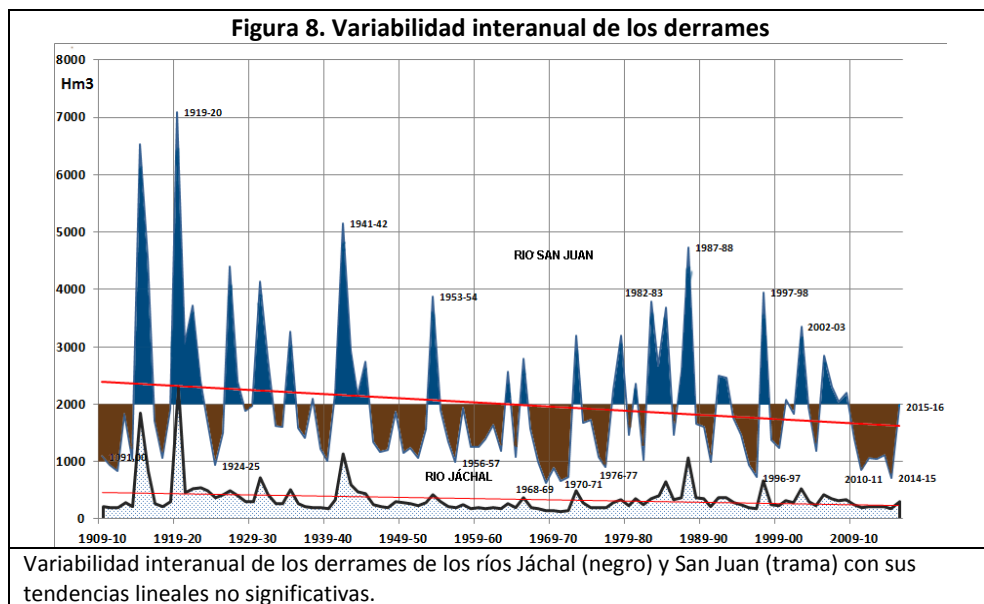
### Variabilidad interanual

La variabilidad interanual de los derrames de los ríos Jáchal y San Juan con sus tendencias lineales se observan en la figura 8, donde se ve reflejada la alta correlación en la coincidencia entre los episodios de altos derrames en ambos, especialmente en los de principios de siglo XX y los periodos secos, fundamentalmente entre 1950-70.

El análisis de sus tendencias determinó que son decrecientes pero no significativas al 99 % (San Juan:  $r_{\text{spearman}} = -0,116$ ,  $T_{\text{Kendall}} = -0,090$ ; Jáchal:  $r_{\text{spearman}} = -0,136$ ,  $T_{\text{Kendall}} = -0,102$ )

debido a que representan el contraste entre largos periodos secos (marrón) y máximos (celeste), que a pesar de ser episódicos tienen valores altos que compensan a aquellos de manera esporádica. Por el contrario, las sequías tienen una mayor duración y derrames de menor magnitud.

En el caso de la asociación de ambos con los eventos ENSO más intensos (Poblete y Hryciw, 2016) el río San Juan es más sensible a la ocurrencia tanto de “Niños” (1941-42, 1957-58, 1965-66, 1972-73, 1982-83, 1987-88, 1997-98) como de “Niñas” (1924-25, 1955-56, 1973-74, 1975-76, 1988-89, 1999-00, 2010-11) lo que está asociado a que los mismos se manifiestan predominantemente en el Océano Pacífico y de manera más indirecta y débil en el Océano Atlántico, mientras que en el río Jáchal además de los anteriores influyen en menor medida agentes pluviales dependientes del Océano Atlántico ya que su cuenca cubre gran parte del piso inferior de la cordillera.



## CONCLUSIÓN

Del análisis de sus series temporales se concluye que el río San Juan es más extremo que el río Jáchal por tener máximos y mínimos más significativos debido a su dependencia directa con los agentes precipitantes provenientes del suroeste en invierno, mientras que en el río Jáchal, al tener una gran extensión de su cuenca ubicada en el piso inferior de la cordillera, los agentes pluviales estivales dependientes del Océano Atlántico adquieren más protagonismo y al mismo tiempo los del piso superior (pacíficos) se debilitan por el efecto latitudinal.

El río San Juan es más sensible a los eventos ENSO intensos por su fuerte asociación con el Océano Pacífico, mientras que el río Jáchal tiene una conexión más débil e indirecta con aquel.

El mayor derrame del río San Juan justifica que los oasis de Tulum, Ullum-Zonda tengan más disponibilidad de Ha para riego (78 % del total provincial) y por ende una significación económica superior que los de Jáchal-Huaco (12%), mientras que la marcada variabilidad interanual y la ocurrencia de extremos esporádicos, en ambos ríos, justifican la construcción de embalses para regular la disponibilidad hídrica. Los oasis menores de Iglesia (4,43%), Calingasta (4,73%) y Valle Fértil (0,48%) tienen una menor significación. Esto describe la gran importancia que tiene el diseño hidroclimatológico sobre el ordenamiento territorial de la provincia de San Juan: oasis mayores enclavados en desiertos que son alimentados por ríos alóctonos con régimen nival de alta montaña; oasis menores alimentados en forma directa por el escurrimiento nival al Oeste y otros más aislados en el Este con régimen torrencial (precipitaciones de verano).

## BIBLIOGRAFÍA

- DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA (2013). *Inspecciones Técnicas*. San Juan.
- DRAPER NORMAN R., SMITH, H. (1998). *Applied Regression Analysis*. 3<sup>rd</sup>. New York, Wiley. ISBN: 978-0-471-17082-2. 736 p.
- POBLETE, A.G, IRANZO, D.A. (2012). Análisis de los Factores de Circulación Atmosférica Regional y Cupla Océano-Atmósfera que Generaron el Período Nival. San Juan.
- POBLETE A. G., MINETTI J.L., IRANZO D. A. (2013). *Condiciones de Borde Atmosféricas y Oceánicas que Intervienen en la Alimentación Nívea de los ríos Cuyanos*. San Juan.
- SIEGEL, S., CASTELLAN, N. (1988). *Nonparametric Statistics for the Behavior*. Science. Madrid, Trillas.
- WEISSTEIN, ERIC W.S.F. (2012). *Least Squares Fitting*. From Math World-A Wolfram Web Resource. Disponible en: <http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFitting.html>
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) (1966). *Climatic Change. Technical Note*, 79. Geneve, 264p.

## LOS AUTORES

**Arnobio Germán Poblete** es Dr. en Geografía por la Universidad Nacional de Tucumán. Se desempeña como Profesor Titular Exclusivo Efectivo en la Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes de la UNSJ donde dicta Estadística II, Climatología e Hidroclimatología de San Juan. Como investigador Categoría 1, dirige el Programa “Climatología de la Provincia de San Juan”, es director del Instituto de Geografía Aplicada y de la Revista de Geografía del mismo Instituto. Registra numerosas publicaciones individuales y grupales.

agpoblete@gmail.com

**Mariela Carina Hryciw** es Profesora de enseñanza media y superior en Geografía y tesista de Licenciatura en Geografía en la Universidad Nacional de San Juan. Se desempeña como Profesor ordinario en el nivel auxiliar de primera categoría dedicación simple con funciones en el Instituto de Geografía Aplicada (Facultad Filosofía, Humanidades y Artes) en el Programa Climatología de la Provincia de San Juan.

licmhryciw@gmail.com