

**Comisión de Seguimiento del Estudio Integral
de la Cuenca del Río Desaguadero - Salado - Chadileuvú - Curacó**

Coordinación Técnica

Informe de Actividades

Responsable: Gastón Buss

Período: Julio de 2014

Introducción y Metodología

A través de la Base de Datos Hidrológicos Integrada dependiente de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación, y en el proceso de descarga de información, se culminó en pasos previos con la homogeneización de los registros y series de datos en sus respectivas planillas, siempre con el fin de un análisis eficaz en una etapa posterior. De este modo, se completaron las planillas de las 49 estaciones de dicha base de datos correspondientes al total de la cuenca, del tipo "activas" e "inactivas", según variables y formatos detallados en el informe del mes de Abril 2014.

A partir de los datos ordenados de todas las estaciones, y considerando como objetivo una caracterización de los períodos históricos hidrológicamente hablando, se seleccionaron solamente aquellas estaciones que tuviesen mediciones hidrométricas. Dichas medidas permiten identificar y considerar diferentes ciclos en cuanto a disponibilidad del recurso hídrico a lo largo de la cuenca en general. Con estos registros se trabajó a partir de la información disponible según su grado de procesamiento, ya sean datos de altura (h), caudal medio diario o caudal medio mensual, con el fin de describir los períodos de tiempo según la información disponible y la calidad de la misma.

Con el fin de representar en una tabla un detalle que permita visualizar gráficamente los períodos con mayor información, procesamiento de los datos, discontinuidades en los registros, y demás, para simplificar y otorgar un resumen de la información disponible, se adjunta la **matriz** realizada en el Informe del mes de Mayo 2014. Aquí se definen los lapsos de registros en cada estación y diferencian las estaciones activas e inactivas, según se encuentren en funcionamiento en la actualidad o no.

Con el detalle de la información con la que se cuenta, se planteó avanzar con la descripción de cada estación y su comportamiento hidrológico histórico. De este modo se comenzó a trabajar en una forma de relacionar todas las estaciones con registros hidrométricos bajo las mismas unidades y parámetros. Para dicho punto se dispuso realizar un análisis estadístico a través del Índice de Caudales Estandarizados (ICE), que lleva todos los datos de una determinada serie a un índice que permite determinar diferentes períodos de excesos y déficits. Tal análisis permitió trabajar con todas las estaciones por igual, independientemente de las dimensiones de los caudales tengan.

El índice utilizado para la determinación de períodos húmedos y secos (ICE), se calcula para un lugar determinado ajustando una función de densidad de probabilidad a valores históricos de Caudales Medios Mensuales. Se utiliza una función Gamma (propuesta por Thom (1958)) para el ajuste de los datos. Los parámetros de dicha función, α y β , se calculan mediante el método de máxima verosimilitud a través de las siguientes ecuaciones: (Thom, 1966)

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) ; \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad \text{siendo:} \quad A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

Donde: \bar{x} : Es la media de los caudales
 n : Número de observaciones de caudales

Se obtiene así la Función de Densidad de Probabilidad ($H(x)$) para cada valor de caudal anual, mediante la siguiente función de Excel:

=DISTR.GAMMA("valor de caudal";"valor α ";"valor β ";VERDADERO)

La Función de Densidad de Probabilidad ($H(x)$) es transformada a una variable Z normal (ICE) con media igual a 0.

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{Para } 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{Para } 0.5 < H(x) \leq 1.0$$

Con:

$c_0 = 2.515517$	$d_1 = 1.432788$
$c_1 = 0.802853$	$d_2 = 0.189269$
$c_2 = 0.010328$	$d_3 = 0.001308$

Donde:

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{Para } 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad \text{Para } 0.5 < H(x) \leq 1.0$$

Se llega a un valor del Índice Estandarizado de Caudales con distribución normal (Z), permitiendo comparar diversos períodos de tiempo. Según los valores, así sean positivos o negativos y su persistencia en el tiempo, se determinaron períodos de excesos o déficits. Una vez definido el proceso se dispuso a confeccionar una ficha para cada estación con el resumen de la información y una descripción gráfica de la variación de períodos ricos o pobres en cuanto al escurrimiento presente en cada caso. Se tiene de este modo una herramienta para el análisis de las respectivas series de datos con un manejo homogéneo de los datos, analizados bajo los mismos parámetros y con un mismo índice que permite trabajar de igual manera a todas las estaciones.

A lo largo de la cuenca, existen 20 estaciones con datos de caudal procesados, con distintos períodos históricos de registros, tal cual se muestra en la **tabla resumen** presentada en el informe del mes anterior. En cada una de ellas se calculó el ICE, y con los valores obtenidos se confeccionó una ficha resumen con la variación de la condición hidrológica a lo largo del respectivo período de registro para cada caso. En las mismas fichas, se presentan los valores máximos, medios y mínimos para cada mes en cada estación según la disponibilidad de información en el tiempo con la que se trabajó particularmente.

A partir de este punto, se realiza un análisis en cada subcuenca caracterizando los regímenes históricos de humedad, según las respectivas estaciones presentes y estudiadas en cada caso, para llegar a una descripción que englobe al total de la cuenca respecto a los registros históricos de caudales.

Se definió una metodología de trabajo, aplicada en cada subcuenca, a partir de los datos obtenidos en las actividades realizadas y presentados anteriormente. Así, con los valores y dinámica de los Índices de Caudales Estandarizados (ICE) para cada estación se definió la marcha del propio índice para cada cuenca según las estaciones disponibles.

Considerando que el ICE y su marcha periódica permite identificar y caracterizar períodos hídricos, se obtuvo para cada río que aporta a la cuenca, una marcha específica del ICE a partir de los respectivos índices de las estaciones pertenecientes a cada subcuenca. Se calcularon en cada caso los índices promedios para cada año, estableciendo de este modo la dinámica particular del ICE. Para definir períodos que caractericen a grandes rasgos, ciclos de excesos o déficits hídricos, se trabajó a partir de promedios móviles de los índices de un año con los de años anteriores, estableciendo relaciones a lo largo de años que se preceden. Particularmente se trabajó con medias móviles del orden de 15 años definiendo de esta manera y tal cual se ve en los respectivos gráficos de las diferentes subcuencas, los períodos "ricos" (valores positivos del ICE) y "pobres" (valores negativos del ICE).

A modo de ejemplo, para el río Atuel, se estableció una dinámica del índice de caudales desde 1900 a la fecha a partir del respectivo comportamiento del índice de las estaciones involucradas y consideradas en este caso: El Sosneado, La Angostura, Loma Negra y Carmensa. De esta manera se obtuvo un valor medio de ICE para cada año y a partir de ellos se aplicó una media móvil de 15 años que define los mencionados períodos ricos y pobres, hidrológicamente hablando.

Resultados

La caracterización de un período como húmedo o seco según haya excesos o déficit hídricos se define por la continuidad de alguna de esta condición a lo largo de un lapso de tiempo. En este caso se trabajó, como ya mencionó, con medias móviles para definir dichos períodos ricos o pobres, obteniendo de este modo una caracterización histórica de los regímenes hídricos para cada una de las subcuencas y para la cuenca en su totalidad.

Subcuenca Río Vinchina

Se trata del sector norte de la cuenca del Desaguadero, contando con datos de una sola estación y un período de datos limitados a los años 1966-1981. Si bien se evidencia un período con déficits hídricos que abarca la totalidad de la década de 1970 (Gráfico 1) con tendencia a recuperar y pasar a un período rico a partir del año 1982-1983, la información es reducida y no permite hacer un análisis mas profundo en este caso.

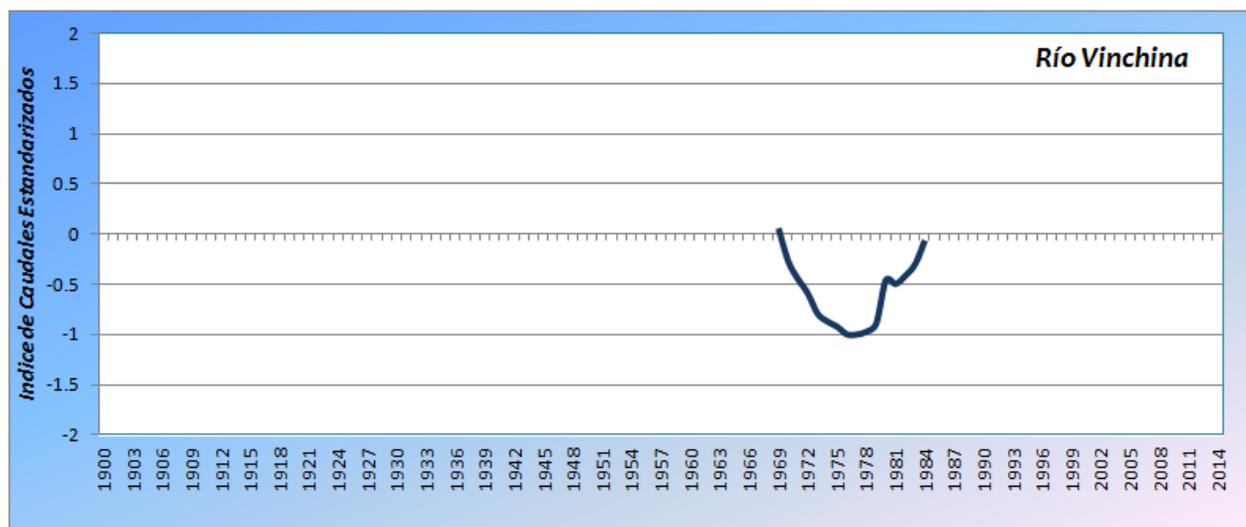


Gráfico 1.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la subcuenca del río Vinchina.

Subcuenca Río Jachal

A partir de las estaciones de La Tranca y Pachimoco, se estableció para el lapso de registros (1936-1989) el comportamiento hídrico para la subcuenca del Jachal (Gráfico 2). Particularmente se observa un amplio período de déficits que abarca desde 1956 hasta 1984-1985 donde se invierte y comienza un ciclo rico que por dificultades en la disponibilidad de información, se dificulta para definir su continuidad y duración. Cabe resaltar que cuanto más se alejan del eje de las ordenadas, ya sea positiva o negativamente, de mayor magnitud será el carácter húmedo o seco del régimen hídrico.

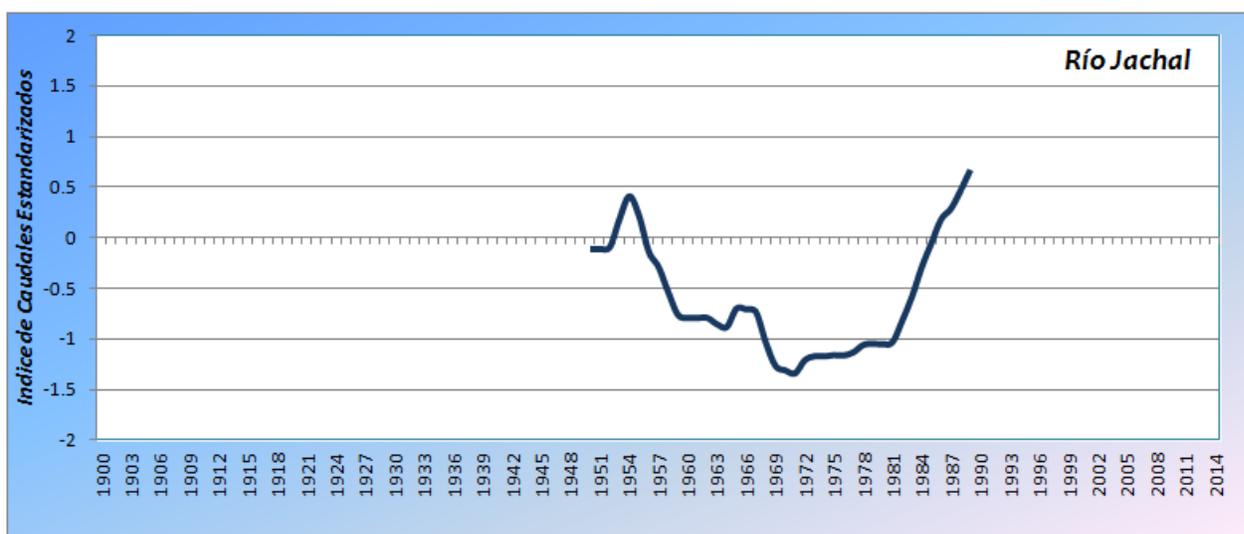


Gráfico 2.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la subcuenca del río Jachal.

Subcuenca Río San Juan

Para el Río San Juan se dispuso de las estaciones de Dique La Rosa, Km 47,3 y Km 101, que completaban un registro desde 1909 hasta la actualidad (Gráfico 3). El mayor grado de información permite un análisis mas extenso que nos da una idea completa del comportamiento de esta subcuenca. Se observa un período húmedo al comenzar la serie de datos a partir de 1920 que se extiende hasta 1950, donde comienza un lapso de déficit hasta el año 1983-1984 para volver a marcarse un ciclo húmedo hasta 1997-1998 que se normaliza y mantiene normal hasta 2007-2008, para volver a entrar en un período pobre hidrológicamente hablando, que se mantiene hasta la fecha. Se aprecia un ciclo de lapsos húmedos y secos que no se mantienen constantes en cuanto a su duración, aunque se denote una variación entre los 20 y 30 años. Si bien se pueden hacer este tipo de conjeturas apoyadas en los registros mencionados, es

recomendable tomar a estos resultados como descriptivos y orientativos de una situación general a lo largo de cuencas/subcuencas de grandes dimensiones.

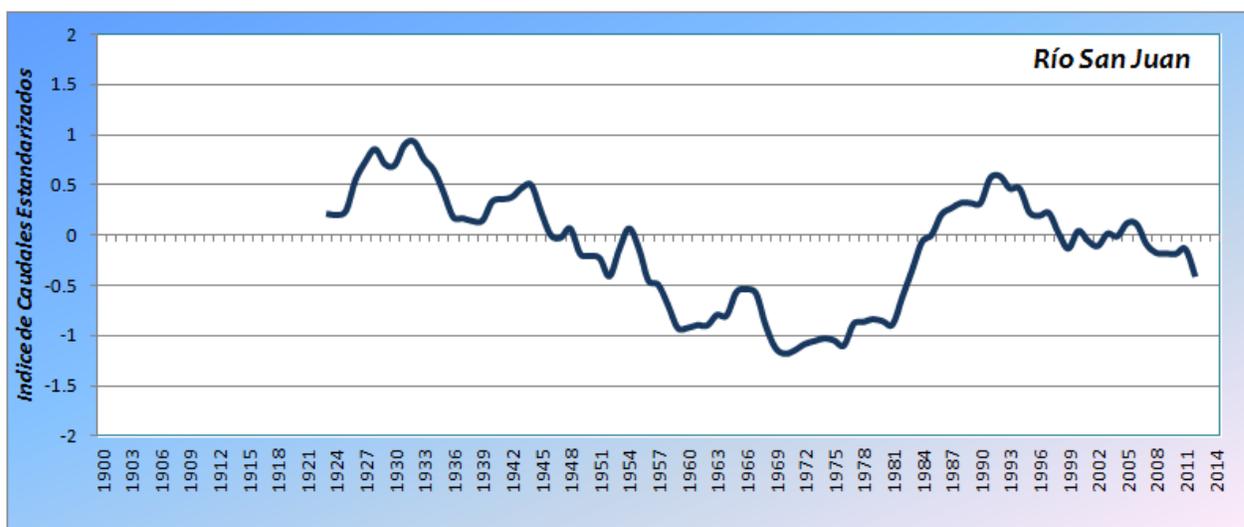


Gráfico 3.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la subcuenca del río San Juan.

Subcuenca Río Mendoza

Como se observa en el gráfico 4, la tendencia que se marca en el régimen hídrico a lo largo del ciclo observado, se asemeja a la de la subcuenca del río San Juan, diferenciándose solamente en la magnitud con la que se dan los escurrimientos respecto a los caudales medios del río Mendoza en alguno de sus ciclos. De esta manera por ejemplo, el ciclo húmedo que comienza en 1982-1983 hasta 1997-1998, tendrá mayor importancia respecto al propio escurrimiento y sus valores medios, respecto al mismo período húmedo observado en la subcuenca vista anteriormente.

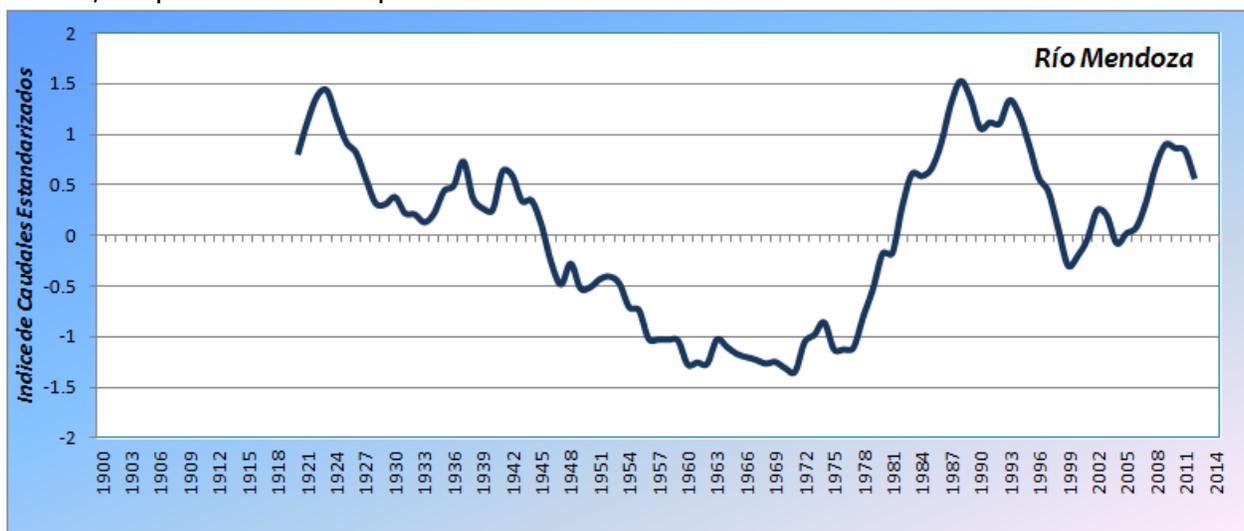


Gráfico 4.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la subcuenca del río Mendoza.

Subcuenca Río Tunuyán

La disponibilidad de información dispar en cuanto al período de registro entre las diferentes subcuencas, dificulta la posibilidad de comparar los comportamientos hídricos uniformemente en el tiempo. Así es que para el río Tunuyán, sólo se cuenta con información a partir de la década del 1960, evidenciando una presunta recuperación de un previo período "seco" hasta llegar a una década "media" como fue la de 1970, y luego mostrando un lapso "húmedo" desde 1980 hasta 2010, resaltándose mayores magnitudes hasta el año 1997.

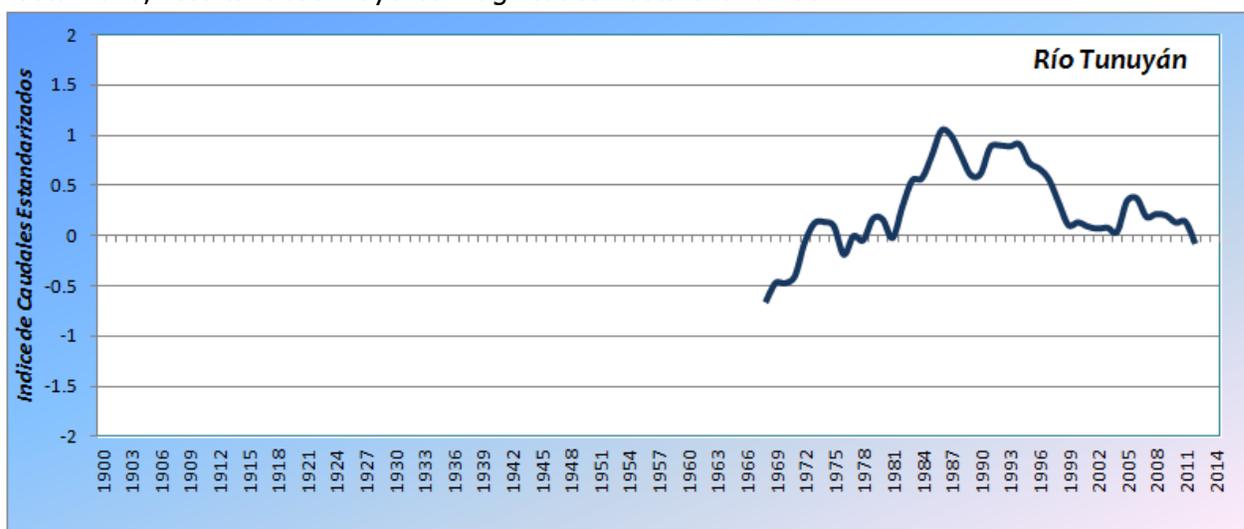


Gráfico 5.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la subcuenca del río Tunuyán.

Subcuenca Río Diamante

Con tendencia similar aunque menos acentuada, en el gráfico 6 se observa el comportamiento hídrico histórico del río Diamante. Esto es, un período de escurrimientos pobres hasta el año 1968-1969, seguido por un régimen que oscila en valores medios hasta llegar a 1980 donde comienza, al igual que a lo largo del Desaguadero en sus respectivas subcuencas, un período húmedo con valores importantes hasta el año 1996. A partir de aquí se vuelve a presentar un pequeño ciclo con valores medios para a partir de 2007-2008, comenzar a evidenciarse el principio de un nuevo período de déficits, tal cual se evidencia en las demás subcuencas involucradas en este estudio.

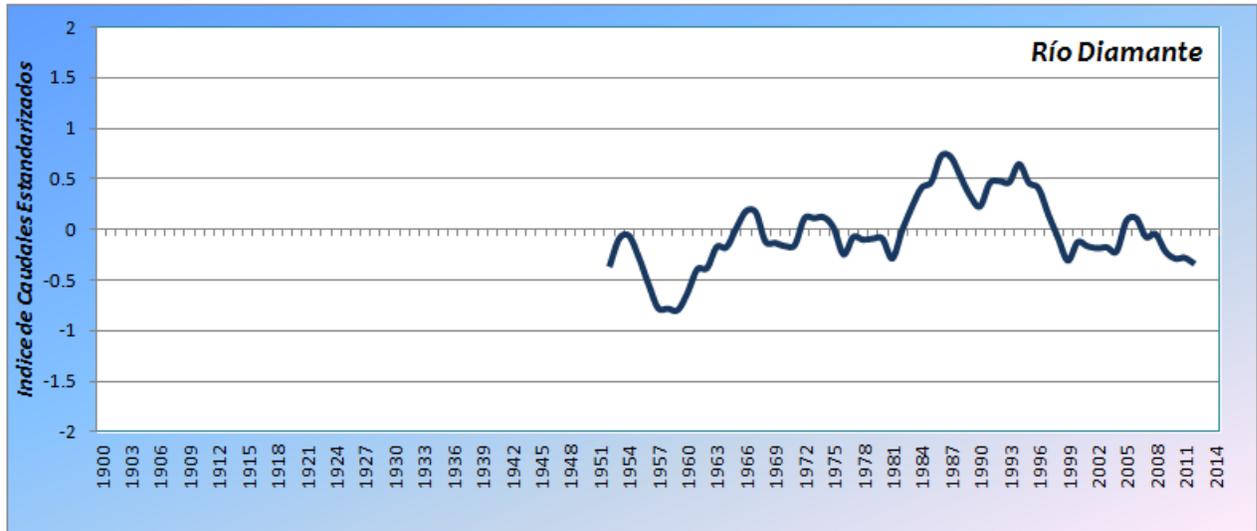


Gráfico 6.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la subcuenca del río Diamante.

Subcuenca Río Atuel

El comportamiento histórico del río Atuel, si bien no se aleja demasiado de la tendencia que se evidenció en las demás subcuencas del Desaguadero, presenta una historia hidrológica mucho más pobre. Se observa en el gráfico 7, según el conjunto de registros disponibles, que existió a comienzos del siglo anterior un ciclo húmedo que duró hasta 1920, a partir de donde se presentó un régimen por debajo de los valores medios. Se trata de un lapso de 60 años, el cual marca una disminución paulatina en la oferta hídrica en los primeros años, para acentuar una crisis entre las décadas de 1950-1960-1970. A partir de 1980, el comportamiento es similar a los casos anteriores, con un período de excesos hasta el año 1994-1995, y un nuevo lapso con déficits luego del año 2008-2009.

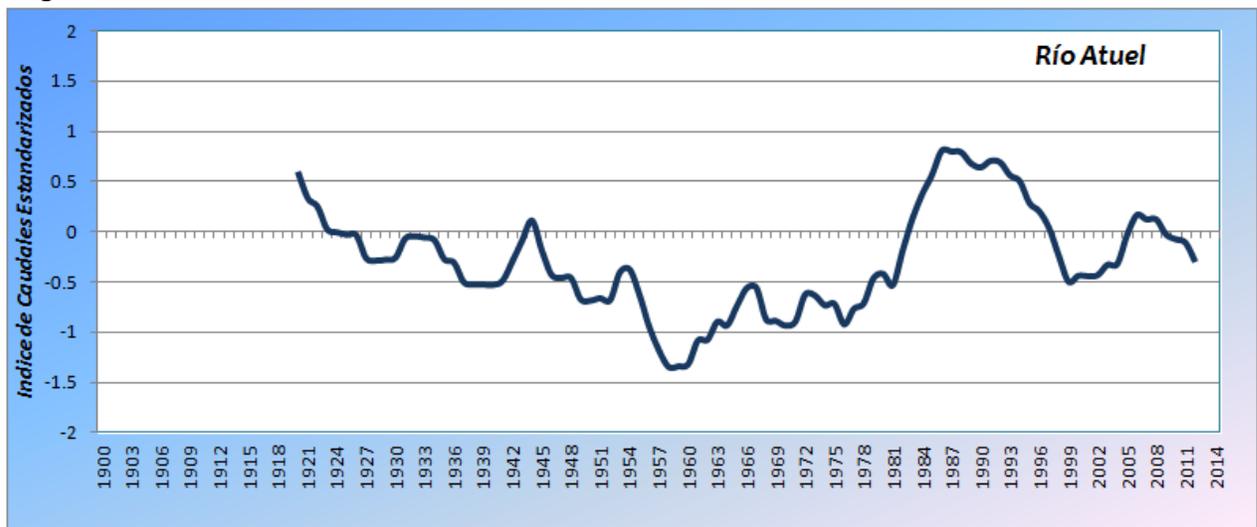


Gráfico 7.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la subcuenca del río Atuel.

Sector de la cuenca: Río Desaguadero-Salado

Para los tramos del río Desaguadero que colecta los escurrimientos de las diferentes subcuencas, se realizó el mismo procedimiento, considerando que las estaciones tenidas en cuenta están ampliamente separadas entre si y todas muestran comportamiento según los aportes que tenga el río en el tramo que involucre a la estación que se disponga. De todos modos, la información para estos tramos no es abundante como lo es en muchas de las subcuencas, por lo que el análisis y la relación con los aportes de sus afluentes, se verá limitado aunque nos otorgue un paneo de la situación.

Así, a través del gráfico 8, podemos observar dos lapsos de registros marcando un período "húmedo" en la década del 1940 con una caída y comienzo de crisis hídrica a partir de 1950, y por otro lado, un lapso ligeramente "seco" en la década de 1990 para volver a evidenciar excesos 2002-2003 con picos en 2006-2007 influenciados por la situación y descargas de los ríos San Juan y Mendoza principalmente. A partir de 2008, y tal como se vió a lo largo de la cuenca en general, se observa una disminución del régimen que continúa hasta el final de los datos analizados.

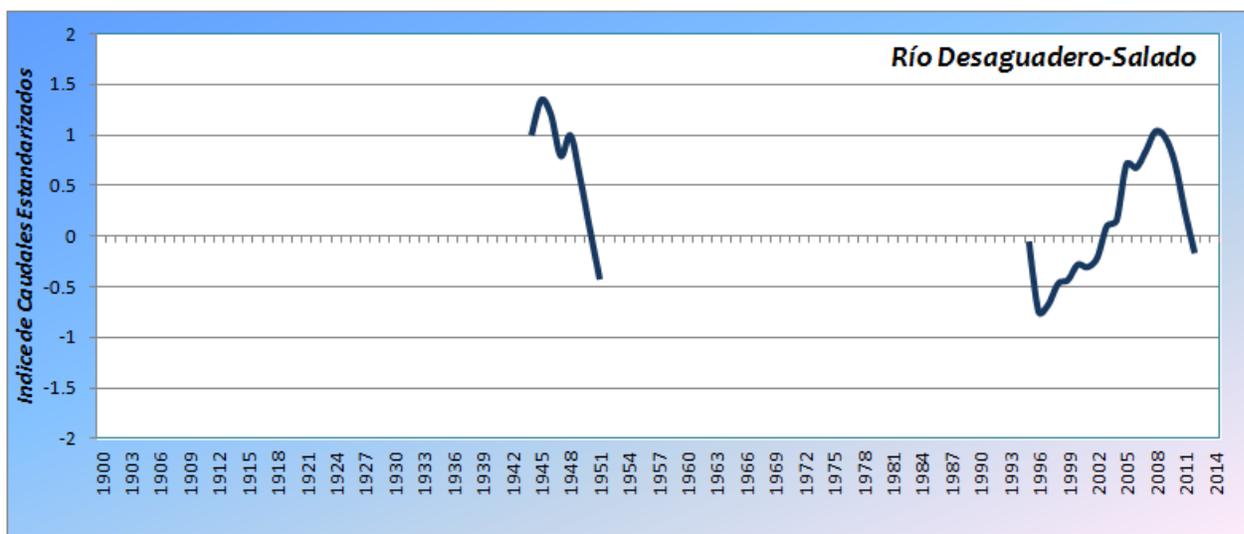


Gráfico 8.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la subcuenca del río Desaguadero-Salado.

Cuenca Río D-S-CH-C

Una vez analizado el total de las subcuencas del río Desaguadero y los tramos del mismo donde se disponía de información, se obtuvo el comportamiento promedio histórico hidrológicamente hablando de la cuenca en general. De esta manera, se puede observar en el gráfico 9 las dinámicas de cada afluente y a su vez, la caracterización promedio del régimen hídrico para la

cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó, considerando el total de la información dispuesta por la Base de Datos Hidrológicos Integrada respecto a la cuenca.

Se observa un ciclo ligeramente “húmedo” previo a 1920 hasta 1950 aproximadamente, seguido de un período de 30 años con importantes déficits focalizados en las décadas de 1960-1970. Un nuevo ciclo de excesos se marca luego del año 1980, con amplios valores de caudales principalmente en esa primer década, y menguando su importancia hacia el año 1998-1999. Desde el 2000 hasta 2008, la cuenca en sí se caracterizó por una situación de normalidad con escurrimientos dentro de valores medios. A partir de allí, se denota una disminución del régimen, cuya tendencia se mantiene en los últimos años de registro.

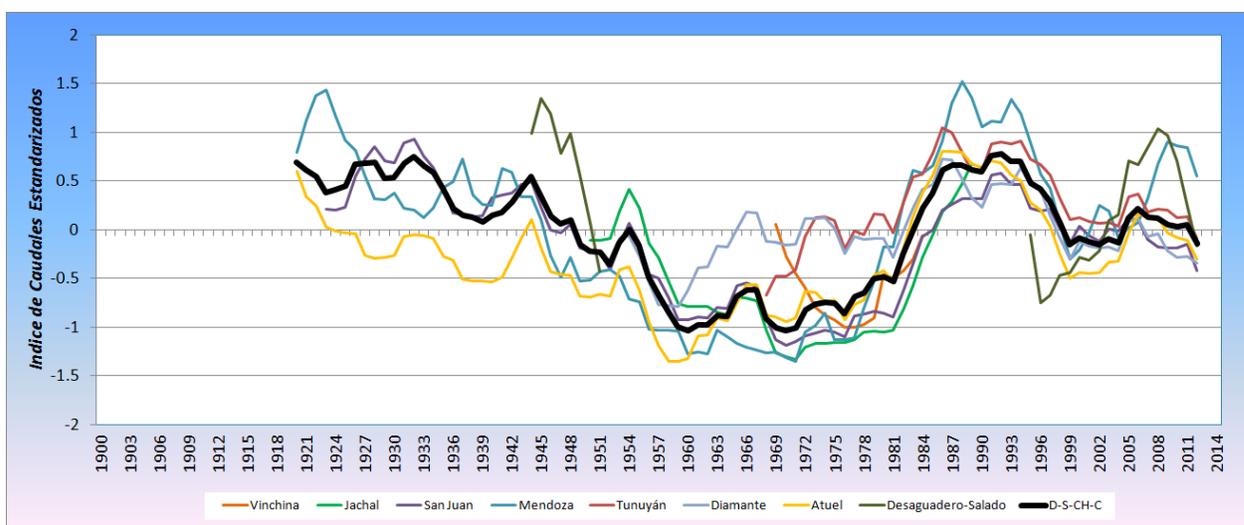


Gráfico 9.- Comportamiento hídrico histórico a través del Índice de Caudales Estandarizados en la cuenca del río D-S-CH-C.

Comentarios finales

La descripción de un régimen hídrico a través de datos históricos que represente la situación de una extensión de territorio, implica tener en cuenta aspectos como la representatividad de la información con que se dispone para poder concluir y llegar a resultados generales. De este modo, y particularmente para el río Desaguadero, el hecho de contar con al menos una estación por cada subcuenca del Desaguadero, nos permite inferir un comportamiento que se asemeje al real en materia hidrológica.

Partiendo de la disponibilidad de información en el espacio, otro aspecto a considerar es la existencia de series de datos consistentes y representativos en el tiempo. Este punto es satisfactorio en la mayoría de los casos ya que se cuenta con registros completos desde el año 1960 hasta la actualidad, e inclusive algunas de las estaciones disponen de datos desde principio de siglo, como se puede ver en las diferentes gráficas.

Un análisis concreto de la situación histórica hidrológica de toda la cuenca nos permite definir a grandes rasgos períodos "húmedos" y "secos" según evidencien excesos o déficits. En este caso, se puede establecer un ciclo de dichos regímenes como se observó a lo largo de toda la cuenca y sus respectivos afluentes (Gráfico 9). Períodos "húmedos" (...-1920-1950; 1980-1998) y períodos "secos" (1950-1980; 2008-...) son los principales lapsos que se identifican dentro de las series de datos. Además se ve entre 1998-2008, una década de escurrimientos normales. Esta situación es particular por contar con subcuencas con regímenes pobres y por ejemplo ríos como San Juan y Mendoza, quienes para dicho lapso cuentan con años "ricos" en caudales, que se equilibran y otorgan dicho carácter "normal" a la mencionada década. De todos modos, la posición en la que se encuentran los ríos de San Juan y Mendoza, sus respectivos módulos, su área de influencia en la descarga sobre el Desaguadero, hace que sus excesos se manifiesten en importantes crecidas del mismo Desaguadero y su posterior tramo denominado "Salado".

Con este análisis se observa la importancia de cada afluente a cada tramo del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó. Se observa y resalta además, la importancia de los respectivos módulos de cada subcuenca, siendo que el carácter de "húmedo" o "seco" influirá de distinto modo en los escurrimientos aguas debajo de la cuenca, según se esté en un afluente de mayor o menor envergadura. Así, el río San Juan ($65,2 \text{ m}^3/\text{s}$) o el río Mendoza ($50 \text{ m}^3/\text{s}$), siempre prevalecerán por sobre el Tunuyán ($28,6 \text{ m}^3/\text{s}$), Diamante ($34,8 \text{ m}^3/\text{s}$) o el río Atuel ($35,2 \text{ m}^3/\text{s}$).

Las próximas actividades a desarrollar se enmarcan en completar registros dentro de la cuenca con estaciones que no pertenecen a la Base de Datos Hidrológicos Integrada, a través del aporte de dicha información por parte de las respectivas jurisdicciones. Con mayor información se pretende ajustar los análisis ya realizados para entrar en la descripción de aspectos más finos como puede ser por ejemplo, la intervención antrópica y regulación de caudales.