

XXIV° Congreso Nacional del Agua 2013

San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS HIDROLÓGICAS. CASO RIO SAN JUAN. ARGENTINA

Mérida, Silvia¹; Urnicia, José¹; Carelli, Fernanda¹; Salvioli, Gerardo¹.

¹Instituto Nacional del Agua. Centro Regional de Aguas Subterráneas (I.N.A.-C.R.A.S.).
Av. Ignacio de La Roza 125 (Este). Piso 3. (C.P. 5400). San Juan, Argentina. Tel.: (54 264) 4214826. Fax:
(54 264) 4212415. meridasilvia@yahoo.com.ar

RESUMEN

El Río San Juan, ubicado en la provincia del mismo nombre en la República Argentina, es un curso de agua permanente producto del deshielo proveniente de la Cordillera de los Andes. Este concentra la mayor parte de la actividad productiva de la provincia y dado que posee una notoria variabilidad temporal, puesta en evidencia por la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos, entre estos las sequías, llevó a la realización de este trabajo cuyos objetivos principales fueron, por una parte, realizar un modelo que permita caracterizar sus sequías hidrológicas y, por otra, determinar el déficit hídrico que las mismas representan.

La metodología utilizada para modelar las sequías se basó en el método de déficit bajo un umbral, analizando la serie de esos periodos, denominados periodos secos, mediante herramientas estadísticas que permitieron caracterizar su severidad. Para determinar el déficit se plantearon diversos escenarios teniendo en cuenta las necesidades de los distintos usuarios, y comparándose posteriormente con la oferta (volumen aforado) se establecieron las necesidades insatisfechas por el recurso superficial, en términos volumétricos y temporales.

Los análisis realizados permitieron definir al percentil 15 como un umbral adecuado para determinar los periodos secos. La ocurrencia de los periodos secos se pudieron modelar con un Proceso de Poisson y analizar el vector de magnitudes que describe las características de los episodios mediante un ajuste a distribución exponencial. Se puede decir entonces, para un umbral igual al percentil 15, que la probabilidad de tener un episodio de sequía en 10 años es del 80%, con una duración máxima de 33 meses.

En cuanto a la demanda real calculada, de todos los usuarios, el agrícola o la demanda por agua de riego, constituye el 93% de las necesidades hídricas totales, siendo casi el 87% de este porcentaje utilizado como riego para cultivos perenes, lo que muestra claramente el grado de dificultad que se presenta al querer establecer un menor umbral.

Después del análisis de los resultados, remarcamos como conclusión principal que la caracterización de las sequías proporcionan medidas que pueden ser de gran ayuda e interés en la gestión del recurso hídrico; diciendo en particular, que disponer de información sobre la máxima sequía esperada es de gran utilidad para cualquier decisión relativa al máximo riesgo al que está sometida una zona.

Palabras clave: déficit, estadística, demanda, valores extremos.

INTRODUCCIÓN

La investigación sobre fenómenos hidrológicos extremos se ha centrado más en el análisis de excesos que en el de episodios de sequía, tal vez fundado en que su ocurrencia no provoca el colapso ni la falla destructiva de las obras. Sin embargo, podemos justificar su estudio al tener en cuenta que puede condicionar la operación de los sistemas de utilización de los recursos hídricos imponiendo muchas veces condiciones más exigentes que las de diseño con grandes consecuencias económicas y sociales.

La provincia de San Juan se encuentra ubicada en la zona árida y semiárida del país por lo que, desde el punto de vista social y económico, posee una elevada dependencia hacia los recursos hídricos que hace indispensable que el estudio de las sequías sea abordado con la profundidad necesaria, para contar con la caracterización de las principales sequías históricas acontecidas.

En el presente documento, basado en la tesis doctoral de Cebrian (1999), se pretende dar, en parte, cobertura a esta deficiencia, realizando un análisis de las sequías hidrológicas del río San Juan, determinando el umbral a partir del cual se puede considerar que existen estos episodios extremos, definiendo sus características: duración, déficit, intensidad y tiempo de recurrencia. Además se extiende el estudio al cálculo de la demanda relacionada con la necesidad hídrica dada por los distintos usuarios (agricultura, minería, industria, abastecimiento poblacional, etc.) de dicho recurso superficial.

A fines prácticos, hemos definido a la sequía como un periodo de tiempo en el que se observa un déficit hídrico inusual, que altera sensiblemente el desarrollo normal de la vida colectiva de una región. Obviamente, este concepto varía dependiendo de las características climáticas y de las necesidades de cada región, por lo que es imposible establecer una definición precisa de carácter universal. Entonces, para poder realizar este trabajo nos basamos en la propuesta de Yevjevich (1967), que plantea el estudiar cuantitativamente las sequías considerando procesos de corte entre series cronológicas de oferta y demanda de agua, en los cuales las sequías aparecen como sucesiones de periodos en que la demanda es insatisfecha.

Para el estudio de las sequías, históricamente, la teoría de rachas fue el método más utilizado, y dado a su inconveniente de solo caracterizar la duración de los episodios secos, llevaron al desarrollo de otras alternativas, como el método aplicado a continuación, denominado de excesos sobre umbrales, que permite identificar el umbral a partir del cual los episodios son considerados extremos y definir las sequías por su duración, déficit e instante de ocurrencia. Además, justificamos la implementación de este método sobre los análisis clásicos de extremos, debido a que estos últimos tienen como inconveniente que son una aproximación basada en la distribución límite del máximo y son ineficientes al considerar sólo el máximo observado en un determinado periodo de tiempo, generalmente un año, por lo que se pierde la información de un gran número de observaciones que también tienen carácter de extremo.

OBJETIVOS

General

Realizar un modelo que permita caracterizar las sequías hidrológicas del río San Juan.

Específico

- Establecer el o los umbrales más adecuados para definir los periodos secos teniendo en cuenta criterios climáticos y estadísticos.

- Comprobar el carácter Poisson de los periodos definidos por los umbrales
- Analizar las series de magnitudes: duración, déficit e intensidad máxima
- Calcular para distintos periodos de retorno las características de las sequías máximas
- Determinar el umbral relacionado a las necesidades hídricas de los usuarios del río

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de las sequías se ha empleado el método de excesos sobre umbrales, el que se basa en la hipótesis de que el proceso de ocurrencia de un fenómeno extremo tiene carácter Poisson. Este método fue aplicado por Zelenhasic y Salvai, en 1987 a series de flujos diarios del río Sava, describiendo las sequías a partir de su duración, déficit e instante de ocurrencia, con el objeto de caracterizar la mayor sequía durante un periodo de tiempo.

Como primer paso, para determinar la ocurrencia de la sequía se definió la señal $s(t)$ como el volumen anual acumulado móvil, para lo cual la serie cronológica de caudales medios mensuales del río San Juan aforados por el Departamento de Hidráulica en el periodo , fueron transformados en volúmenes mensuales y estos sumados en intervalos móviles de 12 meses. La señal así definida resulta adecuada porque elimina el componente estacional y, al tener movilidad mensual, permite establecer de forma precisa el periodo de ocurrencia de un episodio; además, en zonas áridas, la sequía requiere un periodo temporal amplio para manifestarse y con este tipo de señal una observación por debajo del umbral implica que los volúmenes escurridos del año anterior han sido extremos. En la Figura N°1 se muestra la serie original de caudales medios mensuales analizados y la correspondiente señal calculada.

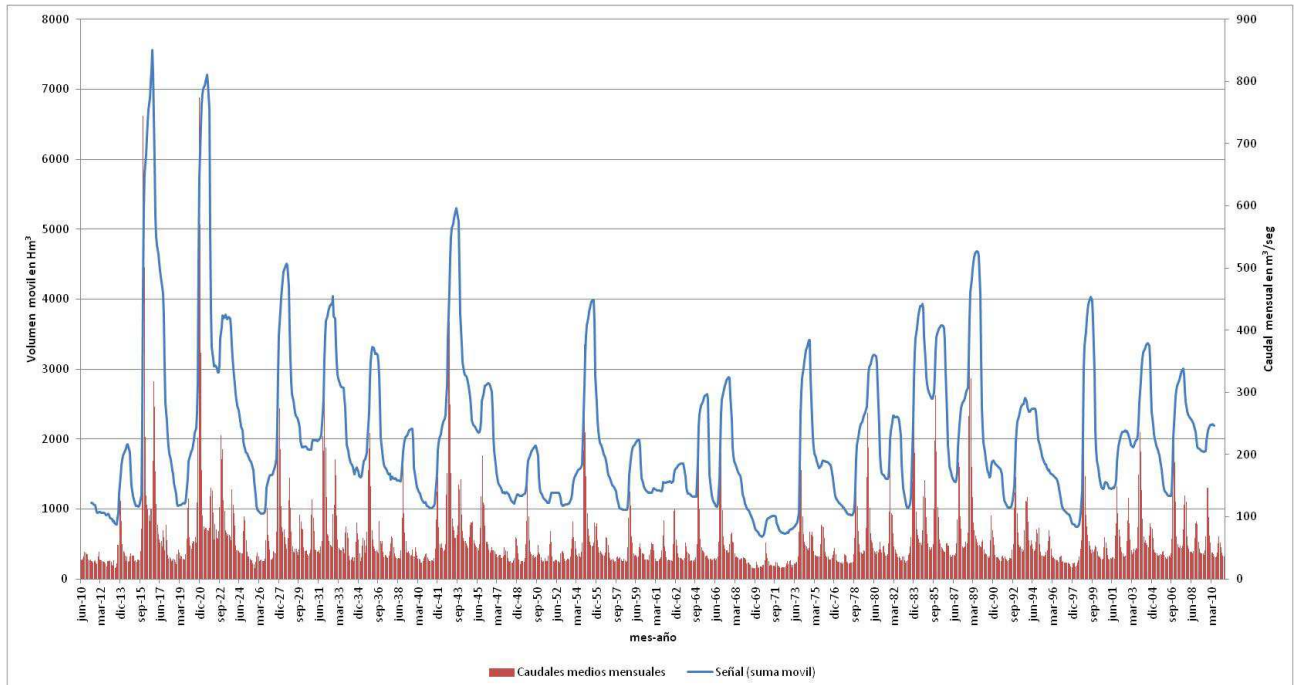


Figura N°1. Caudales medios mensuales y señal en estudio ($s(t)$)

Dado que el proceso de periodos secos no es estrictamente un proceso puntual, puesto que las ocurrencias tienen asociadas una duración; se realizó una aproximación a un proceso Poisson basándonos en que la sequía es un fenómeno anómalo y las duraciones de los periodos secos son

mucho menores que las de los periodos no secos. En estas condiciones fue necesario determinar el instante al que se asocia la ocurrencia de cada episodio, proponiéndose tres alternativas:

- Punto medio: definido como el más natural desde el punto de vista físico.
- Punto inicial: definido como el de mayor ventaja en modelos de predicción ya que su valor es conocido desde el comienzo del episodio.
- Punto de intensidad máxima: definición que aporta aleatoriedad dentro del episodio.

La selección del umbral se hizo en base a criterios estadísticos y climáticos, teniendo presente que los periodos con observaciones inferiores a su valor deben corresponder a situaciones anómalas de escasez. Como el concepto de periodo seco no es preciso la selección basada en ellos no proporcionó un único umbral sino un rango de valores posibles.

Al querer determinar un umbral óptimo nos encontramos con problemas usuales de sesgo y varianza. Un valor demasiado bajo resulta en pocas carencias y en consecuencia estimadores de varianza alta. Para un umbral demasiado alto los estimadores son sesgados. Por esto, se analizó la evolución del proceso de ocurrencia al variar el umbral, con el fin de determinar el valor desde donde se puede suponer el carácter Poisson del proceso.

Para la aplicación del criterio estadístico, se dividió el tiempo de observación en 15, 20 y 25 intervalos, calculando en cada uno de ellos la cantidad de episodios. La construcción del gráfico de la razón Poisson se hizo representando el cociente entre la media y la varianza muestral del número de ocurrencias de cada intervalo en función del umbral y se seleccionó como umbral límite aquel tal que, para todos los valores inferiores, el cociente se aproxime a 1.

Para tener en cuenta el carácter extremo, los cálculos realizados permitieron la construcción del gráfico de excesos medios y el gráfico de excesos exponenciales, representando para el primero los excesos medios en función del umbral, considerando como umbral límite el menor valor para el cual el gráfico es aproximadamente lineal; en el segundo gráfico se representó el cociente entre la media y la desviación estándar correspondiente a umbrales crecientes, tomando como umbral el menor valor desde el cual la gráfica cambia radicalmente de pendiente.

Además como se dijo anteriormente, para la selección del umbral se calculó un rango de posibles umbrales atendiendo a criterios climáticos: porcentajes (50, 60, 70 y 80 del volumen medio de la señal) y percentiles muestrales (5, 10, 15, 20, 25 y 30).

El siguiente paso fue la comprobación del Proceso Poisson para las series definidas por cada umbral, por lo cual se controló que:

- Para el número de ocurrencias: se verifique que el valor de la razón entre la media y varianza se aproxime a 1 y se ajuste a la distribución Poisson, utilizando el test Chi-cuadrado.
- Los tiempos de recurrencia, definidos como los intervalos de tiempo entre dos ocurrencias consecutivas: tengan carácter exponencial, para lo cual se verificó que el valor del coeficiente de variación sea 1 y se ajusten a esta distribución utilizando el test Kolmogorov – Smirnov. También se comprobó la independencia mediante la prueba de correlación serial y test de Spearman, la aleatoriedad mediante los test: de rachas y rachas crecientes-decrecientes y la homogeneidad con el test Cox-Stuart y el test de signo de la diferencia.

Para completar la descripción del proceso de los periodos secos, se analizó las series del vector de magnitudes asociado a cada episodio para el umbral seleccionado sometiendo a los mismos test que se aplicaron a los tiempos de recurrencia. También se ajustaron cada una de las

series que componen este vector a una función exponencial determinando mediante Gumbel los máximos para un periodo de retorno de 50, 100 y 200 años.

Finalmente se determinó el umbral correspondiente a las necesidades hídricas de la provincia relacionadas a la fuente en estudio. Esto fue teniendo en cuenta como usuarios al sector agrícola, industrial, poblacional, recreativo, minero, medicinal, pecuario y piscícola.

Los volúmenes demandados correspondientes a cada usuario fueron provistos por el Departamento de Hidráulica, salvo el destinado al uso agrícola que fue estimado realizando el cálculo de la necesidad de agua para riego de cada cultivo utilizando el método Blaney-Criddle, basado en los datos climáticos medios del periodo 1968-2007, en los coeficientes de cultivo y requerimientos de agua para lavado, datos provistos por el INTA Estación Experimental San Juan y los datos censales de cultivo realizados por el Departamento Hidráulica, relevamiento agrícola 2006-2007. Con base en las investigaciones realizadas por Schilardi (2010), y teniendo en cuenta las características de la red de riego y manejo del agua, se adoptó una eficiencia de 0,9 para conducción, 0,75 para distribución y 0,6 para aplicación.

RESULTADOS OBTENIDOS

Calculado el rango de posibles umbrales atendiendo a criterios climáticos, esto es según los porcentajes y percentiles antes mencionados, se realizó el análisis gráfico del carácter Poisson, representando la razón Poisson para las tres definiciones de instante de ocurrencia (medio, inicial y máximo), Figura N°2. De esta gráfica, se estableció el mencionado carácter en todas las alternativas estudiadas por debajo del umbral 1380, siendo bastante estable al número de intervalos en que se divide el tiempo de observación del proceso.

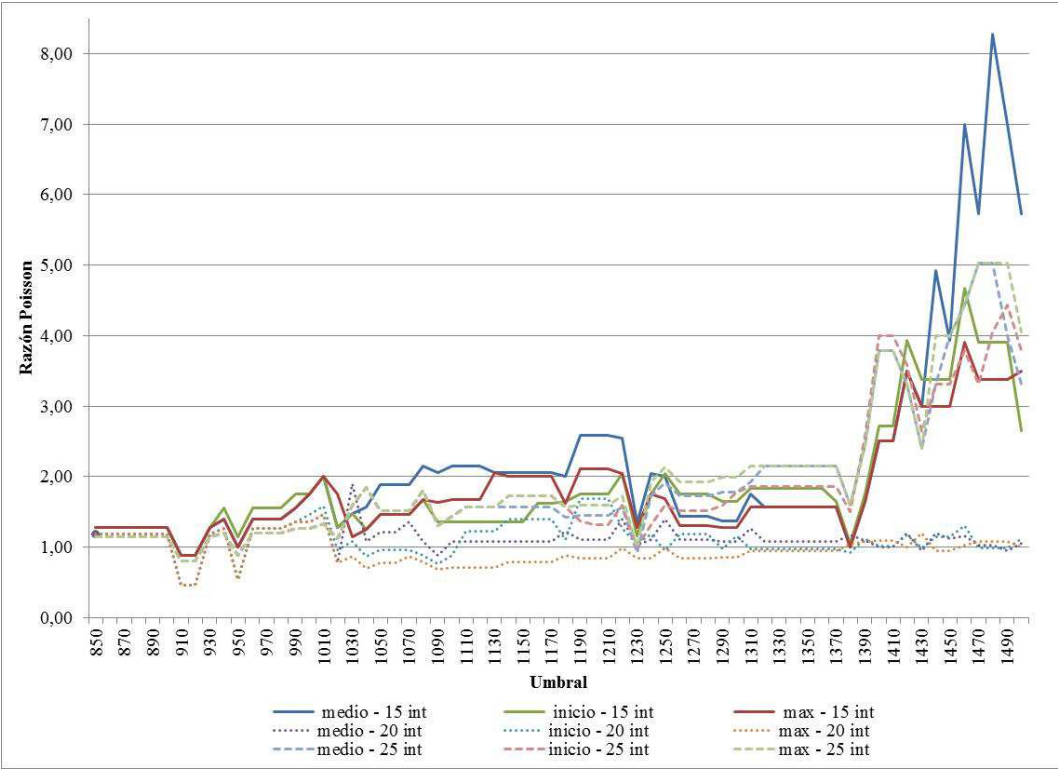


Figura N°2. Gráfico de la razón Poisson

El carácter extremo de las observaciones se manifestó a partir de un umbral más estricto. La Figura N°3 muestra las curvas de excesos medios y excesos exponenciales, obteniendo un máximo o punto de cambio de pendiente en el umbral 1090.

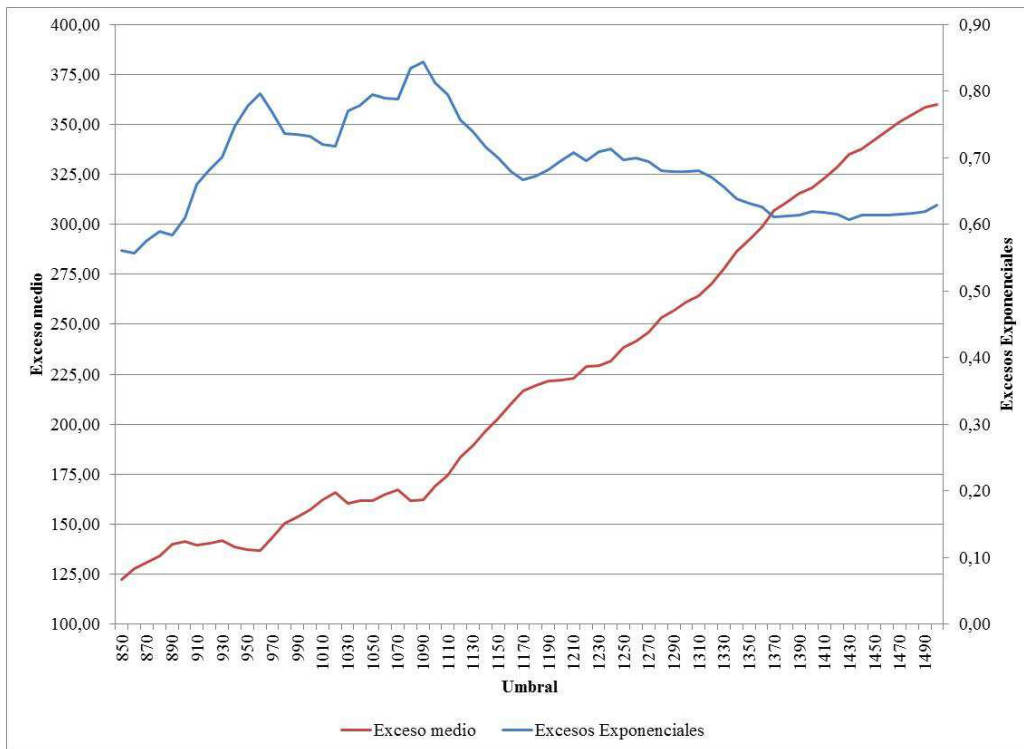


Figura N°3. Grafica de exceso medio y excesos exponenciales

En la Tabla N°1 se resumen los resultados de los que se deducen que el carácter Poisson de los procesos de ocurrencia de los periodos secos se verifica a partir del percentil 30 y 60% de la media y el extremo por debajo del percentil 15 y 50% de la media.

Criterio		Umbral
Climático	40% media	820
	50% media	1025
	60% media	1231
	70% media	1436
	80% media	1641
Estadístico	Percentil 5	876
	Percentil 10	997
	Percentil 15	1072
	Percentil 20	1176
	Percentil 25	1236
	Percentil 30	1333
	Percentil 40	1440
Carácter Analizado	Poisson	1380
	Extremo	1090

La mayoría de los autores definen sus umbrales en función a un percentil por lo que, para la comprobación de la hipótesis de un Proceso Poisson, tomamos como rango de umbrales de interés los percentil inferiores al percentil 30, analizando con mayor detalle el percentil 15 ya que por debajo de este se verificaron las dos condiciones establecidas anteriormente.

Siguiendo con el criterio adoptado, se calculó los números de ocurrencia para las tres particiones seleccionadas (15, 20 y 25 intervalos) y se comprobó el ajuste Poisson mediante el test Chi-cuadrado y el coeficiente de variación, obteniéndose coeficientes que variaron entre 0,76 y 2,4 y p-valores por encima de 0,5 indicando un muy buen ajuste sobre todo para la localización al inicio del intervalo.

El siguiente paso fue verificar el ajuste exponencial, controles de independencia y homogeneidad de los tiempos de ocurrencia. Se presentan en la Tabla N°2 los p-valores obtenidos para los test aplicados.

Tabla N°2. P-valores de los test a los tiempos de recurrencia para la comprobación del ajuste a un Proceso Poisson

Percentil y número de episodios		Ubicación del punto de ocurrencia		
		medio	inicio	max
Percentil 10 n=5	Exp (K-S)	>0,2	>0,2	>0,2
	Spearman			
	Rachas crec.-decrec.	0,50	0,50	0,50
	Cox Stuart			
	Signo de la diferencia	0,19	0,19	0,19
Percentil 15 n= 12	Exp (K-S)	>0,2	>0,2	>0,2
	Spearman	0,75	0,64	0,76
	Rachas crec.-decrec.	0,40	0,40	0,40
	Cox Stuart	0,34	0,11	0,66
	Signo de la diferencia	0,19	0,19	0,39
Percentil 20 n= 16	Exp (K-S)	>0,2	>0,2	>0,2
	Spearman	0,63	0,53	0,71
	Rachas crec.-decrec.	0,93	0,93	0,93
	Cox Stuart	0,36	0,36	0,64
	Signo de la diferencia	0,40	0,23	0,40
Percentil 25 n= 19	Exp (K-S)	>0,2	>0,2	>0,2
	Spearman	0,79	0,73	0,90
	Rachas crec.-decrec.	0,78	0,78	0,78
	Cox Stuart	0,25	0,50	0,75
	Signo de la diferencia	0,32	0,32	0,32
Percentil 30 n= 18	Exp (K-S)	0,2	>0,2	>0,2
	Spearman	0,30	0,30	0,43
	Rachas crec.-decrec.	0,42	0,42	0,42
	Cox Stuart	0,25	0,25	0,75
	Signo de la diferencia	0,24	0,24	0,41

La cantidad de periodos secos para el percentil 5 no permitió la aplicación de los test, y por el mismo motivo en el percentil 10 no fue posible aplicar el test de Spearman y el de Cox – Stuart.

El análisis de los resultados (p-valores>0,05), confirmó la independencia, aleatoriedad y homogeneidad de los tiempos de recurrencia como así también su carácter exponencial, para todos los percentiles en estudio.

La aplicación de los test al vector de magnitudes arrojó los valores que se observan en la Tabla N°3, no pudiéndose aplicar el test de Spearman al percentil 10 dado que la cantidad de periodos secos es inferior a 10. El analisis de los resultados confirma la aleatoriedad, independencia y homogeneidad de las series.

Tabla N°3. P-valores de los test al vector magnitud

		duración	intensidad máxima	severidad
Percentil 10	Spearman			
	Rachas crec.-decrec.	0,35	0,35	0,35
	Cox Stuart	0,13	0,13	0,13
Percentil 15	Spearman	0,55	0,61	0,60
	Rachas crec.-decrec.	0,59	0,59	0,59
	Cox Stuart	0,66	0,66	0,66
Percentil 20	Spearman	0,52	0,58	0,52
	Rachas crec.-decrec.	0,97	0,97	0,97
	Cox Stuart	0,36	0,14	0,36
Percentil 25	Spearman	0,51	0,54	0,48
	Rachas crec.-decrec.	0,87	0,99	0,99
	Cox Stuart	0,95	0,62	0,62
Percentil 30	Spearman	0,32	0,40	0,34
	Rachas crec.-decrec.	0,78	0,78	0,78
	Cox Stuart	0,98	0,75	0,91

Una vez comprobado que el proceso de sequías verifica la hipótesis de ser un Procesos Poisson y ajustado el modelo del proceso de ocurrencia, interesa analizar el vector de magnitudes que describe las características de los episodios observados por lo que se ajustaron modelos parametricos a las magnitudes. Para modelar cada una de las series, siguiendo el criterio propuesto por Zelenhasic y Salvai (1994), se utilizó el ajuste a una distribución exponencial, cuyas funciones y parámetros se muestran en la Tabla N°4, estimando, mediante el procedimiento de máxima verosimilitud, los parámetros que se muestran en la Tabla N°5.

Tabla N°4. Distribución propuesta para modelar las series del vector magnitud

Distribución	función de densidad	Función de distribución	Media	Desviación estándar	Periodo de retorno
Exponencial	$\alpha \exp(-\alpha t)$	$1-\exp(-\alpha t)$	$1/\alpha$	$1/\alpha$	$\ln(k\lambda)/\alpha^a$

(a) k= unidad de tiempo en meses

Tabla N°5. Parámetros de la distribución Exponencial

Magnitud	Percentil				
	10	15	20	25	30
Duración	0,0500	0,0722	0,0708	0,0667	0,0528
Intensidad máxima	0,0059	0,0073	0,0051	0,0047	0,0032
Déficit	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002
λ	0,0050	0,0108	0,0150	0,0180	0,0175

A partir del modelo ajustado se pudo calcular los valores medios de las magnitudes, la desviación típica como medida de la variabilidad de la distribución, percentiles de distinto orden y el valor del periodo de retorno en k unidades de tiempo. La Tabla N°6 muestra los resultados obtenidos de los periodos de retorno para el percentil 15.

Tabla N°5. Parámetros estimados de la distribución exponencial.
Percentil 15

Magnitud	Periodo de retorno (años)		
	50	100	200
Duración (meses)	26	35	45
Intensidad máxima (Hm ³)	257	353	448
Déficit (Hm ³)	4325	5930	7534

Según lo establecido por Cebrian (1999), si la distribución de la variable es exponencial donde el tamaño de la muestra tiene una distribución Poisson, la distribución del máximo es Gumbel por lo que teniendo en cuenta esto se calcularon para los periodos de retorno establecidos los valores máximos. A modo de ejemplo se muestran los resultados obtenidos para el percentil 15 en la Tabla N°5.

Tabla N°6. Magnitud máxima según periodo de retorno para el percentil 15

Magnitud	Periodo de retorno (años)		
	50	100	200
Duración (meses)	52	60	68
Intensidad máxima (Hm ³)	498	574	649
Déficit (Hm ³)	5287	6067	6845

Finalmente se determinó el umbral en terminos de las necesidades hídricas de la zona abastecida por el río en estudio; para lo cual la implementación del metodo Blaney-Cridlle arrojó los valores mostrados en la Tabla N°7. Estos valores junto con los volúmenes requeridos para el resto de los usuarios provistos por el Departamento de Hidráulica, ver Tabla N°8, determinaron un umbral de 1564,16 Hm³.

Tabla N° 7. Volumen requerido para riego

Cultivo	Hm ³
Vid	874,25
Olivo	149,02
Hortaliza	114,81
Frutales	63,09
Pasturas	113,16
Forestales	21,63
Cereales	4,17
Semillas	5,84
Aromáticas	0,11
Arbolado Público	62,39
Varios	47,77
Total	1456,23

Tabla N° 8. Volumen requerido por los distintos usuarios

Usuario	Hm ³
Agrícola	1456,23
Abastecimiento Poblacional	29,36
Hydroenergético	0,00
Medicinal	0,79
Recreativo	0,85
Industrial	21,85
Minero	54,63
Pecuario	0,36
Piscícola	0,09
Total	1564,16

Al considerar solamente los cultivos perenes y demas usos el umbral desciende a 1371 Hm³, valor cercano al percentil 30.

CONCLUSIONES

Los análisis realizados permitieron definir al percentil 15 (1072 Hm³) como un umbral adecuado para determinar los periodos secos, ya que este logra ser un umbral lo suficientemente crítico para poder aplicar los resultados de la teoría de extremos de procesos estocásticos y proporciona un número razonable de observaciones.

Los umbrales por debajo del percentil 30 verifican su carácter de Proceso Poisson, al cumplir con las condiciones de independencia, homogeneidad y aleatoriedad, hasta el umbral 15, a partir del cual la baja cantidad de ocurrencias de episodios no hace posible la aplicación de los test.

Las tres series de localización de la ocurrencia utilizadas (punto medio, inicio e intensidad máxima) proporcionaron resultados similares comprobándose mejor el carácter Poisson cuando la localización es en el punto de inicio y el numero de intervalos no es muy pequeño (>20).

La ocurrencia de los periodos secos se pudieron modelar con un Proceso de Poisson y analizar el vector de magnitudes que describe las características de los episodios mediante un ajuste a distribución exponencial con el objeto de determinar valores útiles en la toma de decisiones y planificación de los recursos hídricos, en otras palabras la duración esperada de una sequía, la probabilidad de observar déficits superiores a uno dado, el periodo de retorno de episodios de cierta intensidad o la duración y déficit de la sequía más grave que cabe esperar en un determinado tiempo. En números por ejemplo se puede decir que, para un umbral igual al percentil 15, la probabilidad de tener un episodio de sequía en 10 años es del 80%, con una duración máxima de 33 meses.

En cuanto a la demanda real calculada, de todos los usuarios, el agrícola o la demanda por agua de riego, constituye el 93% de las necesidades hídricas totales, siendo casi el 87% de este porcentaje utilizado como riego para cultivos perenes, lo que muestra claramente el grado de dificultad que se presenta al querer establecer un menor umbral, en otras palabras, constituye un parámetro de características casi invariables debido al tipo de cultivo. Sin embargo una mejora en la eficiencia de aplicación reduce notablemente la demanda con valores por debajo del percentil 25.

Entonces, entendiendo que la demanda es fijada por la actividad humana mientras que la oferta está condicionada por el clima y, en vista del alto umbral resultado de las necesidades hídricas actuales es que entendemos y justificamos la necesidad de un estudio conjunto de aguas superficiales y subterráneas que permitan en episodios de sequía minimizar sus efectos. Además es recomendable fortalecer las organizaciones de usuarios para que ellas puedan planificar y ejecutar las medidas de contingencia basando sus decisiones en estudios como el presente.

BIBLIOGRAFIA

Cebrián, A. (1999) “*Análisis, modelización y predicción de episodios de sequía*”. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.

Departamento Hidráulica de la Pvcia. de San Juan (2007). “*Relevamiento agrícola en la Provincia de San Juan*”. Ciclo 2006-2007.

Fernández, B. (1987) “*Identificación t caracterización de sequías meteorológicas en la zona central de Chile*”. VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, 2, 15-28. Santiago, Chile.

Fernández, H. ; Fernández, B. (2000) “*Identificación t caracterización de sequías meteorológicas anuales en el cono sur de América*”. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Córdoba, Argentina.

Liotta, M., Miranda O., et al (2010). “*Demanda hídrica y eficiencia de riego en los valles de Tulúm, Ullúm y Zonda*”. Revista RURALIS. Centro Regional Mendoza, San Juan. INTA. Año III N° 12.

Montgomery, D.; Runger, G. (1996) “*Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería*”. Primera Edición. McGraw Hill. México.

Schilardi, C. (2010) “*Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyan Superior, Mendoza Argentina*”. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo.

Yevjevich, V. (1967) “*An objective approach to definition and investigation of continental drought*”. Hydrology Paper 23. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Zelenhasic, E.; Salvai, A. (1987) “*A method of streamflow drought analysis*”. Water Resources Research. Res (23, 1), pp 156-168