

# RELACIÓN ENTRE VARIABLES Y SEQUÍAS METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARCARAÑÁ, ARGENTINA

Leticia Vicario<sup>1,2</sup> y Carlos M. García<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional del Agua. Centro de la Región Semiárida.

Av. Ambrosio Olmos N° 1142. 1er. Piso. Ciudad de Córdoba. Provincia de Córdoba. Arg. (X5000JGT)

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Arg.

<sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Arg. Afiliación de los autores, País de los autores  
E-mail: lvicariotm@gmail.com

## Introducción

La escasez de precipitaciones (valores observados menores a los esperados o medios) en un área y en un período de tiempo determinado constituye un proceso hidrológico extremo denominado “sequía” (Vicario *et al.*, 2015). Esta es una definición operacional que se puede implementar si la ocurrencia (o no) de las precipitaciones es caracterizada a través de parámetros representativos y comparados respecto de umbrales predeterminados, teniendo en cuenta las particularidades del área de interés. Las sequías se clasifican según la variable utilizada o el objetivo de estudio. Una de las clasificaciones más conocidas es la propuesta por Wilhite y Glantz (1985) donde se distinguen las Sequías Meteorológicas, Agrícolas, Hidrológicas y Socioeconómicas. Si bien existen antecedentes sobre aspectos y enfoques del fenómeno de las sequías alrededor del mundo y desde hace varias décadas (Keyantash y Dracup, 2002; y Hao y AghaKouchak, 2013, entre otros), los estudios sobre la relación entre las sequías meteorológicas y los distintos tipos de sequías son escasos. A su vez, el análisis y evaluación de las relaciones temporales entre las variables representativas lluvia y caudal tienen gran importancia en el plano de los Recursos Hídricos, además de su relevancia en el estudio de los fenómenos hidrológicos extremos, tales como los distintos tipos de sequía.

Dada la importancia socioeconómica de la región central de Argentina, el objetivo fundamental de este trabajo es la evaluación de la relación entre las variables relevantes que describen a las sequías meteorológicas y a las sequías hidrológicas, como lo son la lluvia y el caudal, respectivamente; como así también de los índices representativos de ambos tipos de las sequías. Este análisis se realiza en una cuenca de llanura y de gran tamaño denominada cuenca del río Carcarañá en Argentina.

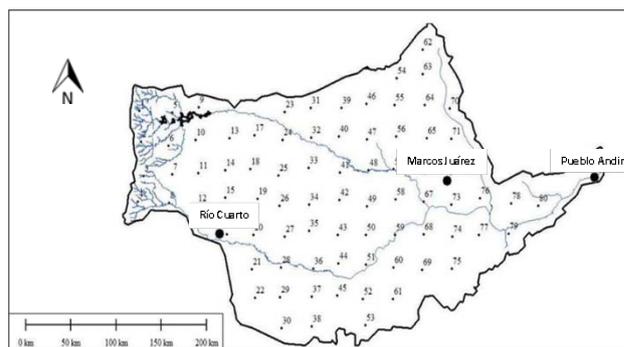
## Materiales y métodos

### Área de estudio e información utilizada

La cuenca del río Carcarañá se ubica dentro de la región central pampeana de la Argentina, en el centro-sudeste de la provincia de Córdoba y atraviesa el sur la provincia de Santa Fe para desembocar en el río Paraná. El río Carcarañá, drena un área de aproximadamente 60.000 km<sup>2</sup>. Esta cuenca posee dos grandes subcuencas de aporte, las mismas pertenecen a los principales tributarios que son los ríos Tercero (o Ctalamochita) y Saladillo. Ambos tributarios (Tercero y Saladillo) confluyen en cercanías de la localidad de Monte Buey, dentro de la provincia de Córdoba, continuando su curso con el nombre de río Carcarañá. Uno de los arroyos de mayor importancia en la cuenca baja del río Carcarañá es el Tortugas.

Respecto de la información pluviométrica en la cuenca del río Carcarañá, al inicio de este estudio se contaban con pocas estaciones pluviométricas con series históricas útiles en toda el área de estudio. Con el fin de lograr una mejor cobertura espacial se utilizaron valores de precipitaciones estimadas a través de la TRMM, por sus siglas en inglés: Misión Tropical de Medición de Precipitaciones (Fuente: Nasa, 2015), agregadas en paso de tiempo mensual. En esta cuenca se establecieron 80 localizaciones (píxeles) de la TRMM, de manera arbitraria pero

distribuida homogéneamente dentro de la cuenca del río Carcarañá y se calcularon los valores medios mensuales de lluvias (este procedimiento fue debidamente validado y presentado por Vicario *et al.*, 2017, en un artículo que se encuentra en evaluación). Con respecto a los datos de caudales, se utilizaron los correspondientes a los medios mensuales registrados en el período 1981-2009 pertenecientes a la única estación hidrométrica activa en la cuenca baja del río Carcarañá, denominada Pueblo Andino, la cual se encuentra emplazada dentro de la provincia de Santa Fe a 30 km, aproximadamente, antes de la desembocadura de dicho río al Paraná. Los datos pertenecen a la Red Hidrometeorológica Nacional de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (<http://www.hidricosargentina.gov.ar>). En la **Figura 1** se observa la distribución espacial de los 80 puntos definidos para el cálculo de los valores de precipitación de la TRMM, además de las ubicaciones de dos estaciones pluviométricas de Marcos Juárez y Río Cuarto y de la estación hidrométrica Pueblo Andino.



**Figura 1.-** Localización de los puntos (del 1 al 80) con datos estimados de precipitaciones (TRMM) y ubicaciones de las estaciones pluviométricas de Marcos Juárez y Río Cuarto y de la estación hidrométrica Pueblo Andino.

### Índices utilizados

Para identificar y caracterizar las sequías meteorológicas se utilizó el índice estandarizado de precipitaciones (SPI), el cual se fundamenta en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período dado (McKee *et al.*, 1993). Los valores de clasificación para el SPI se presentan en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.-** Valores característicos del índice estandarizado de precipitación (SPI) (McKee *et al.*, 1993).

| Valor SPI     | Categoría de sequía   |
|---------------|-----------------------|
| >2,00         | Extremadamente húmedo |
| 1,99 a 1,50   | Muy húmedo            |
| 1,49 a 1,00   | Moderadamente húmedo  |
| 0,99 a -0,99  | Normal                |
| -1,00 a -1,49 | Sequía moderada       |
| -1,50 a -1,99 | Sequía severa         |
| <-2,00        | Sequía extrema        |

Para analizar las sequías hidrológicas se utilizó el índice de sequía hidrológico SDI (por sus siglas en inglés: Streamflow Drought Index) desarrollado por Nalbantis (2008). Este índice se basa en el análisis de los valores de caudales, volúmenes o

escurrimientos agregados durante períodos de tres, seis, nueve y doce meses dentro de cada año hidrológico, denominados k1, k2, k3 y k4, respectivamente. La función del índice SDI (1) es:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - V_k}{s_k} \quad (1)$$

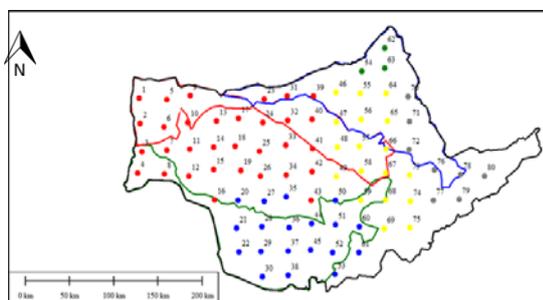
Donde  $SDI_{i,k}$  es el índice de sequía de caudales para el año  $i$  y el intervalo considerado  $k$ .  $V_{i,k}$  es el volumen de caudales acumulados para el año  $i$  (desde 1 hasta  $n$  cantidad de datos), en  $j$  meses correspondientes a los respectivos intervalos  $k$ ;  $V_k$  y  $s_k$  son, respectivamente, el valor promedio y desvío estándar de todos los valores de  $V$  para el intervalo  $k$  considerado en la serie de datos históricos. Los rangos de valores del índice SDI para calificar el nivel de las sequías hidrológicas se muestran en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.-** Valores del índice SDI según los distintos estados de sequía hidrológica (Nalbantis, 2008).

| Descripción     | Criterio  |
|-----------------|-----------|
| Sin sequía      | >0        |
| Sequía suave    | 0 a -1    |
| Sequía moderada | -1 a -1,5 |
| Sequía severa   | -1,5 a -2 |
| Sequía extrema  | <-2       |

### Metodología para el análisis de datos

Para relacionar los datos de precipitaciones con los registros de caudal, escurridos en el cierre de cada cuenca, se procedió a agrupar los valores de las localizaciones determinadas para la TRMM, según dos criterios: a) Se agruparon respetando las divisiones físicas de las cinco subcuencas y b) Se agruparon según el método estadístico de conglomerados. Para el primer caso, simplemente se identificaron los puntos contenidos en cada subcuenca. A través del análisis de conglomerados, cuya metodología consiste en asociar las observaciones de un conjunto, en un número determinado de grupos, basada en el concepto de distancia o similitud entre las observaciones. Se utilizó la distancia Euclídea y el método de Encadenamiento promedio. Ambos análisis se realizaron con el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011). Para las respectivas instancias de agrupamiento, físico o estadístico (**Figura 2**), se calcularon los valores promedios de lluvias de cada uno de los grupos de estaciones identificados. Para establecer la correlación entre las variables de lluvia (LL) - caudal (Q), se utiliza el coeficiente de correlación (CC) y se evalúa a través del método de Pearson. De esta manera, se evaluó la relación entre valores de lluvias medias mensuales de cada grupo discriminados por subcuenca y por conglomerados; con los caudales medios mensuales de la estación de aforo ubicada al cierre de la cuenca.



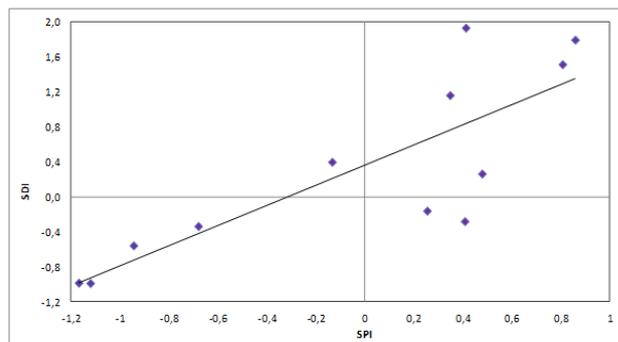
**Figura 2.-** Localización de los puntos (80) con datos estimados de precipitaciones (TRMM) respecto de las subcuencas que integran la cuenca del río Carcarañá y clasificación de los mismos según el método estadístico de Conglomerados, identificados según los colores: Rojo, Azul, Amarillo, Verde y Gris.

### Resultados y discusión

Resumiendo los resultados de relevancia, se pudo observar que utilizando solo el valor de precipitaciones medias de las subcuencas ( $P_i$ ), independientemente del método de agrupa-

miento utilizado, para ajustar una función que explique la variable dependiente del caudal ( $Q_i$ ), el CC es 0,44 ( $R^2 = 0,19$ ). Mientras que si se agregan los valores de caudal en el periodo inmediato anterior ( $Q_{i-1}$ ) el CC es 0,67 ( $R^2 = 0,45$ ).

Una vez obtenido el promedio de las precipitaciones mensuales en cada subcuenca se calcularon sus respectivos índices SPI a nivel mensual y luego, se obtuvieron sus promedios anuales ya que los índices SDI con los cuales se va a estimar el nivel de correlación se calcularon para el intervalo k4 (12 meses). El coeficiente de correlación entre los índices SDI y SPI para el periodo 1999-2010 (Figura 3) es de 0,82 o bien un  $R^2$  de 0,67.



**Figura 3.-** Correlación entre los índices de sequías meteorológicas e hidrológicas: promedio anual SPI (12 meses) y SDI (k4), respectivamente, en la cuenca del río Carcarañá (1999-2010).

### Conclusiones

En la cuenca del río Carcarañá se observó que, a nivel mensual, la correlación para explicar el caudal no presenta diferencias de consideración si se utilizan precipitaciones medias discriminadas por subcuencas o por conglomerados, pero sí mejora notoriamente si además de éstas, se tiene en cuenta el caudal en el periodo inmediato anterior al analizado. A nivel anual, la correlación entre los índices SPI y SDI calculados para el periodo 1999-2010 es aceptable. En ambos casos no se observaron mejoras significantes en las correlaciones utilizando funciones complejas o con órdenes de magnitud mayores a uno.

### Referencias

- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. INFOSTAT versión (2011). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Hao, Z., Aghakouchak, A. (2013). Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. Elsevier. Advances in water resources. Volume 57, July 2013, pp 12–18
- Keyantash, J. and Dracup, J.A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83, 1167–1180.
- Mckee, T.B., N. J. Doesken, and J. Kliest, (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22. January, Anaheim, ca. American Meteorological Society. Boston, ma. 179-184.
- Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a hydrological drought index. European Water 23/24: 67-77
- Nasa Homepage (2015). Sitio web: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>
- Vicario, L.; García, C.M.; Domínguez, F. (2017). Validación de precipitaciones mensuales estimadas con TRMM para estudios de sequías meteorológicas. Revista Tecnología y Ciencias del Agua. ISSN: 2007-2422. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (**artículo en evaluación**).
- Vicario, L.; García, C.M.; Teich, I.; Bertoni, J.C.; Ravelo, A.; Rodríguez, A. (2015). Caracterización de las sequías meteorológicas en la región central de la argentina. Revista Tecnología y Ciencias del Agua. ISSN 2007-2422. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Wilhite, D. A. and Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International, vol. 10: 111-120.