

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA – CENTRO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA

ÁREA DE HIDROLOGÍA

ELCANO, Giuliana, TOMASINI, Sabrina y VICARIO, Leticia.

Evaluación de sequías hidrometeorológicas en una cuenca de las Sierras Chicas de la provincia de Córdoba

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". Todos los lugares del planeta están sujetos a la eventual ocurrencia de estos procesos, incluso las áreas típicamente lluviosas (Dracup *et al.*, 1980). Estos fenómenos pueden ser detectados utilizando información de diversas variables: a) la precipitación (sequía meteorológica), b) la humedad del suelo (sequía agrícola), o c) la escorrentía superficial (sequía hidrológica). Cuando se inicia un período de sequía, generalmente el sector agrícola es el primero en ser afectado debido a su alta dependencia de la cantidad de humedad en el suelo. No obstante, un período de sequía agrícola en una región, es consecuencia de la ocurrencia previa de un período de sequía hidrometeorológica y a su vez, es posiblemente, precedente a la ocurrencia de un período de sequía hidrológica según la duración e intensidad de la misma (Vicario *et al.*, 2014).

Para la evaluación y monitoreo de las sequías hidrometeorológicas a nivel de cuenca, la precipitación es considerada la variable principal a tener en cuenta, por lo cual es conveniente contar con series de datos históricos consecutivos de una longitud considerable, con la finalidad de observar distintas características del fenómeno.

Específicamente en la región central de Argentina, la disponibilidad de información de variables hidrometeorológicas durante periodos prolongados de tiempo es escasa, por lo que los estudios de sequías en esta región son limitados.

Se destaca la importancia de estudiar y buscar nuevas herramientas de estimación de datos de precipitaciones a nivel de cuenca, tal como el uso de información remota registrada por satélites.

En noviembre de 1997 comenzó la misión satelital TRMM (por sus siglas en inglés de la Misión Tropical de Medición de Precipitaciones) desarrollada en forma conjunta entre la NASA y la agencia japonesa de exploración aeroespacial: JAXA, con el fin de estudiar las precipitaciones para investigaciones climatológicas. Estos datos admiten aplicaciones para la evaluación de la dinámica hidrológica, en distintas regiones (Campos *et al.*, 2014).

Rasmussen et al., (2013) mostró que es necesario examinar el sesgo de los valores obtenidos por TRMM ya que puede afectar la percepción de la climatología y de la hidrología en regiones relativamente áridas.

Este trabajo se basa en lo observado por Vicario (2017) al utilizar datos de precipitaciones de TRMM para el cálculo de un índice representativo de las sequías meteorológicas, el cual implica una normalización de los valores y por ende el sesgo es desestimado. De esta manera se considera que es posible evaluar la evolución temporal de las sequías hidrometeorológicas a través de un índice pertinente, utilizando información de sensores remotos previamente validada.

De manera complementaria, se realiza un análisis temporal de la cobertura vegetal de las Sierras Chicas a partir de imágenes satelitales Landsat. Este tipo de análisis permite identificar cambios y obtener resultados con relación a las transformaciones espaciales de una región (De La Cruz Burgos y Muñoz García, 2016). Particularmente en este trabajo, permite inferir si las variaciones de la vegetación en el tiempo se relacionan con los ciclos secos y húmedos evaluados mediante el SPI.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del dique La Quebrada tiene su sección de cierre en dicho dique. Su cuenca de aporte posee una superficie aproximada de 38 km² y se ubica en el faldeo oriental de las Sierras Chicas, al oeste del departamento Colón de la provincia de Córdoba (Figura 1).

La construcción del dique data del año 1976, embalsando las aguas de dos importantes colectores: el río Colanchanga y el río Los Hornillos, en cuya confluencia originalmente se formaba el Río Ceballos, con un módulo aproximado de 0,2 m³/s (Figura 2). Forma parte de la Reserva Hídrica Natural La Quebrada, uno de los principales atractivos turísticos de la región, creada en 1987 con el fin prioritario de proteger la cuenca hídrica del dique homónimo y su vegetación (Ley 6964/83, Áreas Naturales Provinciales y sus Ambientes Silvestres. Córdoba, Argentina. Decreto 5620).

Dicha zona, según la Agencia Córdoba D.A.C y T. Dirección Ambiente (2003), forma parte del Distrito Chaqueño Serrano (Cabrera 1976), donde la vegetación se distribuye en relación al gradiente altitudinal formando pisos, los cuales actualmente se encuentran modificados por la actividad antrópica.

Entre los 500 y 1300 msnm, se desarrolla el Bosque Serrano en el que predomina el molle, coco (individuos aislados), orco quebracho, quebracho de las sierras. El estrato arbustivo se encuentra dominado por especies espinosas del género *Acacia* tales como espinillo, aromitos, garabatos, piquillín de las sierras y manzano de campo. También hay presencia de algunas aromáticas como peperina y tomillo. Existen numerosas cactáceas, epifitas y hemiparasitas. En el estrato herbáceo aparecen en forma discontinuas helecho y numerosas dicotiledóneas herbáceas y gramíneas.

Por encima de los 1000 msnm se presenta pastizales y bosquesillos de altura en los que la composición de especies esta en relación a la altitud, por lo que en las altitudes más bajas predominan especies de linaje chaqueño, mientras que en altitudes más elevadas predominan especies del linaje andino patagónico. En los pastizales de menos altura domina *Festuca hieronymi* y

distintas especies de Stipa. A mayor altitud predomina Deyeuxia hieronymi, Festuca tucumanica, paja de puerto, carex y Muhlenbergia peruviana.

La importancia del mencionado sistema hídrico radica en el abastecimiento de agua potable de la zona. Actualmente, el Sistema Integral en Sierras Chicas unifica el transporte del agua potabilizada entre las Plantas Potabilizadoras de La Quebrada y de La Calera, con el objetivo de contar con un sistema flexible capaz de complementar la producción de agua potable de ambas plantas y asegurar su disponibilidad en todas las localidades del corredor (Cooperativa de Obras y Servicios Río Ceballos Ltda., 2018). De esta forma la planta potabilizadora La Quebrada provee, principalmente, el 60% del agua que recibe Río Ceballos y una gran parte de lo que llega a Salsipuedes; mientras que la planta potabilizadora de La Calera provee de agua a población de La Calera, Villa Allende, Saldán, Mendiolaza, Unquillo y parte de Río Ceballos.

Se considera que el crecimiento demográfico, la falta de planificación y gestión integral de los aspectos involucrados en el sistema de la cuenca, se conjugan para generar, de manera periódica, situaciones hídricas críticas en la región.

En este orden, caracterizar los periodos de sequías y la modificación de la cobertura vegetal asociado a ellos, contribuye a generar información necesaria (pero aún no suficiente) para los tomadores de decisión respecto de los aspectos relacionados a los recursos hídricos.



Figura 1.- Gráfico de ubicación relativa de la zona de estudio Provincia de Córdoba.

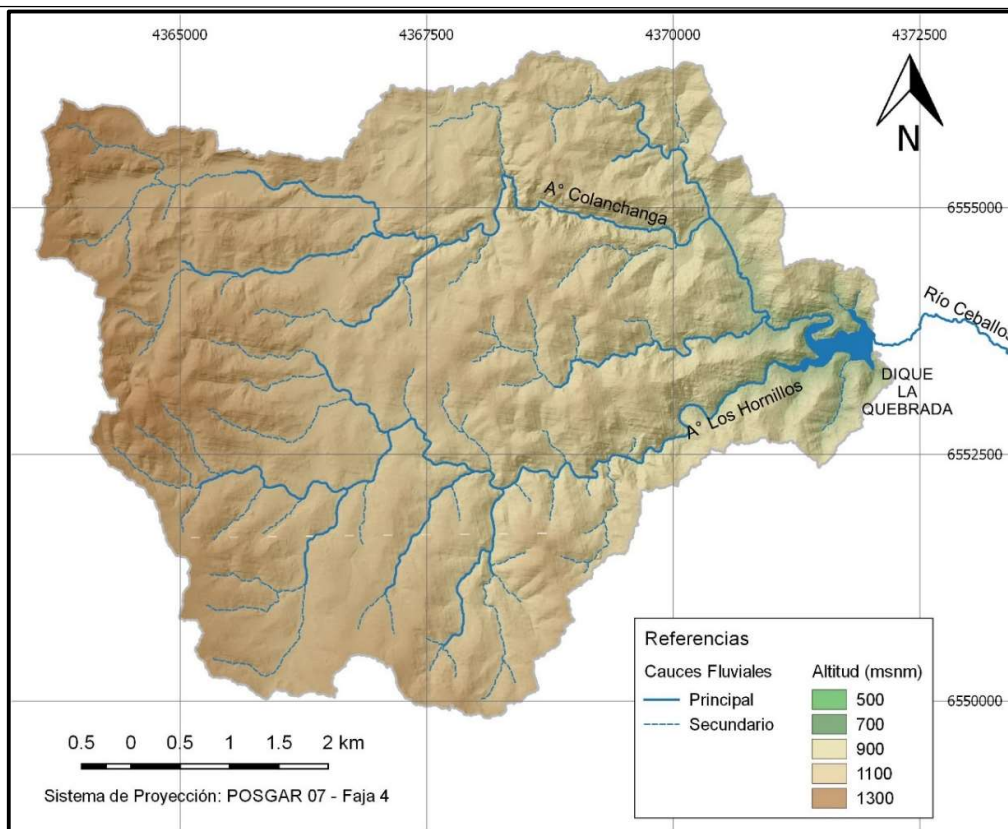


Figura 2.- Cuenca hidrográfica del Dique La Quebrada.

INFORMACIÓN UTILIZADA

Para el análisis de sequías en la cuenca del dique La Quebrada, se utilizó la serie de precipitaciones medias mensuales de dicha cuenca (Fuente: Secretaria de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba, ex DIPAS). Esta serie tiene 38 años y se extiende desde 1966 hasta 2004.

Con la finalidad de prolongar la serie de precipitaciones existentes, se utilizaron valores de precipitaciones estimadas a través de la misión TRMM (Fuente: NASA, 2018) para la cuenca. Se obtuvieron datos de precipitaciones medias mensuales a partir del año 1998 hasta el año 2018.

Para el estudio de la cobertura vegetal se utilizaron herramientas de geoprocetamiento de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) sobre imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 del área de la cuenca del dique La Quebrada. Estas imágenes corresponden a periodos de la estación húmeda y seca de los años hidrológicos 2000, 2015 y 2017.

METODOLOGÍA UTILIZADA

Índice SPI

Para evaluar las sequías hidrometeorológicas se utiliza el Índice estandarizado de precipitaciones, SPI (por sus siglas en inglés: Standarized

Precipitation Index) propuesto por McKee *et al.* (1993). El SPI fue diseñado para mejorar la detección del comienzo de la sequía y para el monitoreo de la misma; el mismo se fundamenta en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período dado.

La Organización Meteorológica Mundial (2012) indica que el cálculo del SPI para una localidad se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado, sin considerar otras variables tales como las condiciones del suelo o la evapotranspiración. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero (Edwards y McKee, 1997). Este índice puede estimarse en distintos intervalos del tiempo (2, 6, 9 o 12 meses). Los valores de clasificación para el SPI se presentan en la Tabla 1.

Velasco y Aparicio (2004) mencionan que es el índice que sintetiza más apropiadamente las características de la sequía como fenómeno natural, partiendo del principio de que la precipitación pluvial (lluvia) es parte fundamental del ciclo hidrológico.

Se define una sequía cuando el SPI es continuamente negativo y alcanza un valor de 1,0 o inferior, y continúa hasta que el SPI se torna positivo. La duración de la sequía es definida por el intervalo entre el comienzo y el final del período.

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

Análisis de cobertura vegetal

La metodología de análisis multitemporal, es una técnica de análisis que implica el análisis digital de dos o más imágenes satelitales, referidas cronológicamente, que al ser procesadas permiten identificar cambios en las características de las coberturas vegetales y obtener conclusiones en relación a las transformaciones espaciales de una región (De La Cruz Burgos y Muñoz García, 2016).

Sobre cada una de las imágenes satelitales se realizó una clasificación supervisada en SIG, distinguiendo entre vegetación densa, rala y suelo descubierto.

Por cada año de imágenes obtenido, se realizó el análisis correspondiente a la estación seca (de mayo a septiembre) y húmeda (de

septiembre a abril). Luego se examinó el comportamiento temporal de la cobertura vegetal en dichas estaciones para los años 2000, 2015 y 2017.

RESULTADOS

En la Figura 3 se observa la serie completa de los valores del índice SPI (12 meses) para el periodo 1967-2018 estimados con la serie de datos observados (1966-2004) y completada con datos de precipitaciones obtenidas con TRMM hasta el año 2018.

Se pudo identificar un periodo de aproximadamente de 7 años de sequías severas y extremas (alternados con periodos normales y húmedos), desde finales de la década del '60 hasta 1976. El comienzo de este período se constata con el hecho de que el año de menor precipitación fue 1969, con sólo 590 mm (Cooperativa de Obras y Servicios Río Ceballos Ltda., 2012).

También se observan periodos de sequías intensas, aunque de menor duración hacia finales de la década del 2000 hasta el año 2014 aproximadamente. Durante este período se registraron varias bajantes históricas del nivel del embalse, con récord en febrero de 2014 en 14,80 m respecto a la cota de vertedero (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2018).

Luego se observa que a partir del año 2017 comienza un período descendente, llegando a una sequía extrema en abril de 2018. Esta situación se condice con la declarada emergencia hídrica que se vive actualmente en las Sierras Chicas. El bajo nivel del Dique La Quebrada, consecuencia de las escasas precipitaciones registradas en cuenca de aporte, llevaron a cortes rotativos de suministro en las localidades abastecidas por el mismo.

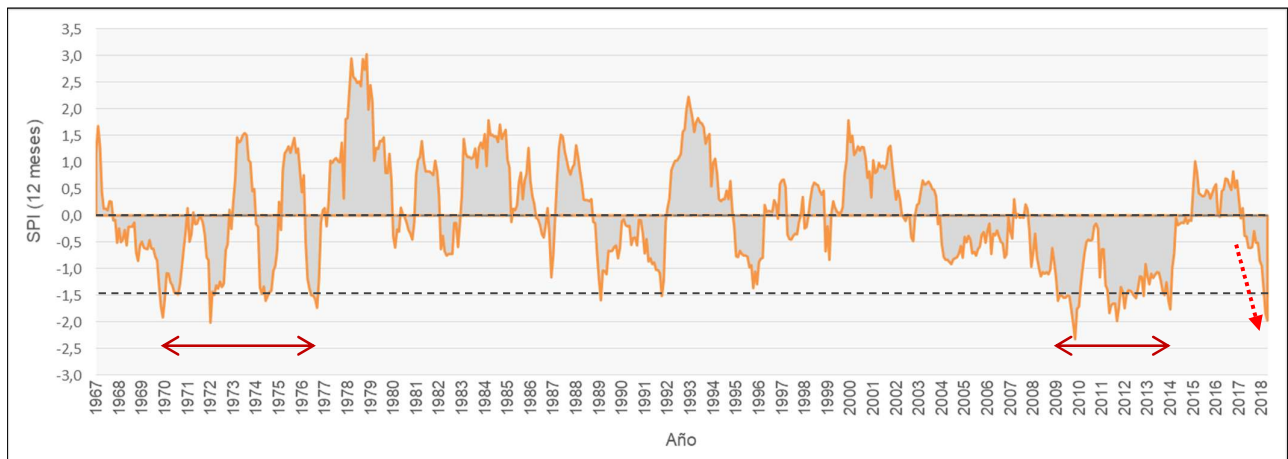


Figura 3.- Índice SPI (12 meses) obtenida a partir de registros observados y estimados de TRMM, en el Dique La Quebrada. Período 1967-2018. Se destacan los periodos con sequías severas y extremas.

Luego, al analizar la frecuencia de ocurrencia de los distintos períodos clasificados según las categorías del índice SPI (Figura 4), es posible observar que luego de los períodos "normales" cuya frecuencia es notablemente superior al resto, es seguido con valores semejantes entre sí, por los periodos húmedos y secos definidos como moderados. La categoría que continua con mayor ocurrencia es el de las sequías severas, presentándose incluso algunos periodos de sequías extremas.

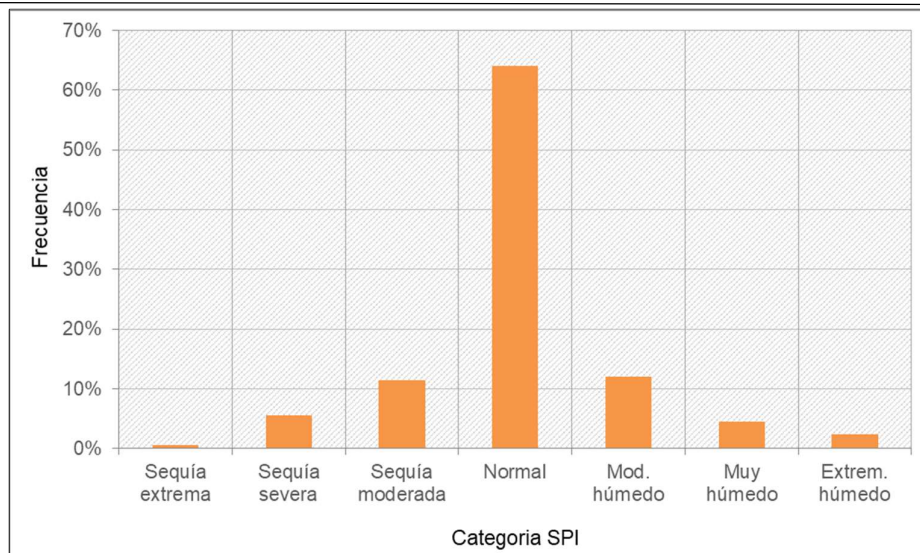


Figura 4.- Frecuencia de las distintas categorías del índice SPI (12 meses) en el Dique La Quebrada.

Respecto al análisis temporal de la cobertura vegetal, en términos generales, se pudo observar que dentro del periodo estudiado (2000-2017) hubo una significativa reducción del área vegetal.

En principio se analizó el comportamiento de la vegetación en los meses secos (Figura 5, Figura 6 y Figura 7). En el caso del año 2000 se pudo identificar una predominante área de vegetación densa en la parte baja de la cuenca, mientras que en la zona alta de la cuenca predomina la vegetación rala. Realizando una comparación con los años 2015 y 2017, se pudo apreciar una significativa reducción de la cobertura vegetal en la zona alta de la cuenca y un cambio del tipo de vegetación, de densa a rala en la zona baja de la cuenca.

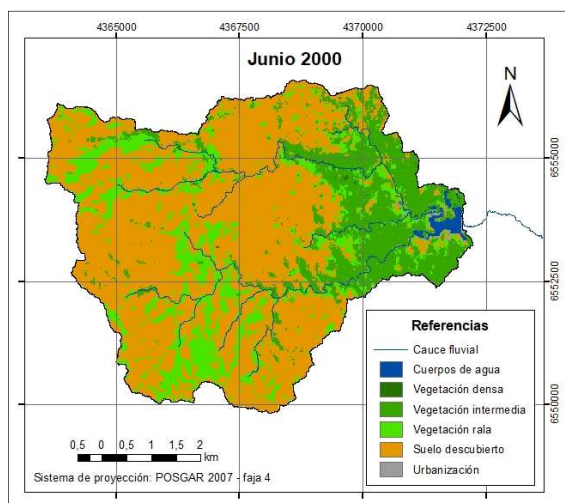


Figura 5.- Cobertura vegetal Junio 2000.

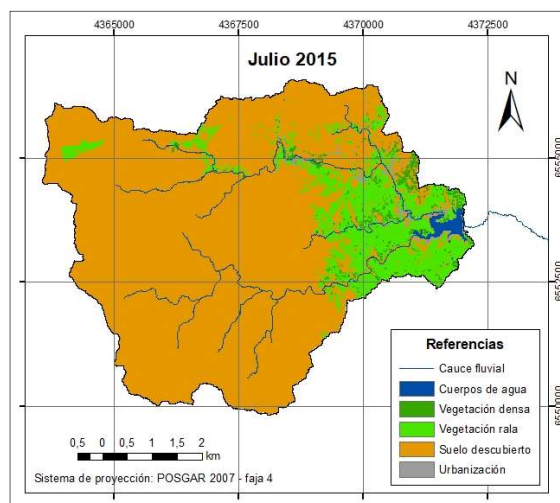


Figura 6.- Cobertura vegetal Julio 2015.

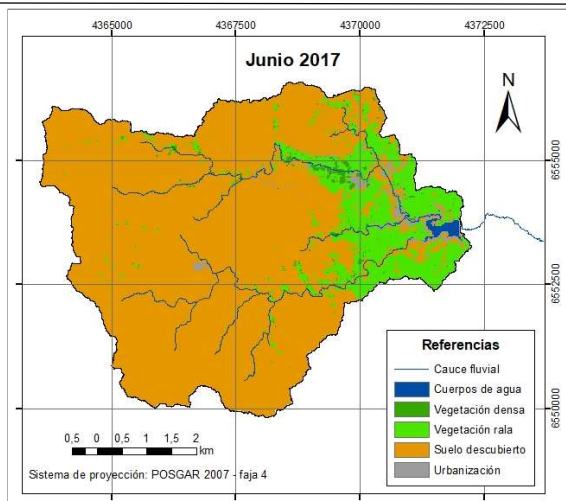


Figura 7.- Cobertura vegetal junio 2017.

En relación a los meses correspondientes a los periodos húmedos (Figura 8, Figura 9 y Figura 10), podemos mencionar que en el caso del año 2000 existe una importante área correspondiente a la vegetación densa en la zona baja de la cuenca y vegetación rala en la zona alta de la misma. En la imagen de noviembre del 2015, se nota un importante cambio en el tipo de cobertura vegetal en la zona baja de la cuenca, de densa a rala. El SPI indica que esta imagen es posterior a un extenso periodo de sequía (2009-2014) y comienzo de periodo normal. Esta situación se revierte durante el año 2017, donde se observó más presencia de vegetación densa en la zona baja de la cuenca, periodo durante el cual el SPI acusó valores normales que favorecería la recuperación de la vegetación densa.

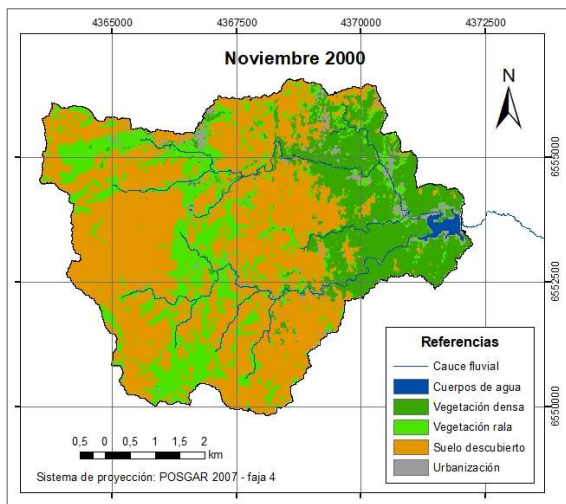


Figura 8.- Cobertura vegetal Noviembre 2000.

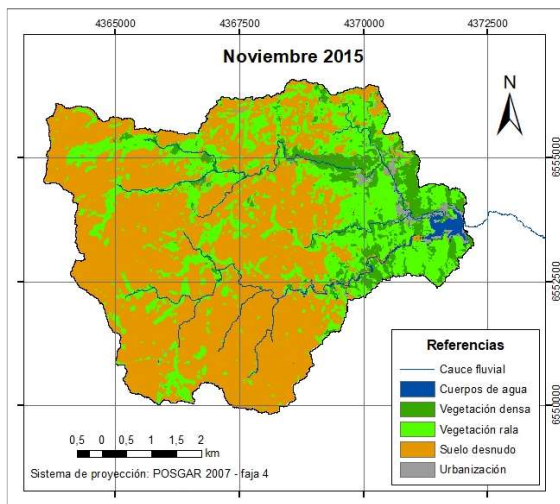


Figura 9.- Cobertura vegetal Noviembre 2015.

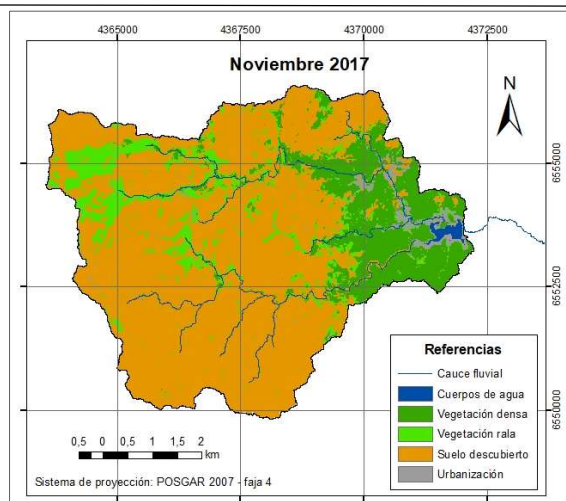


Figura 10.- Cobertura vegetal Noviembre 2017.

CONCLUSIONES

Fue posible extender 18 años la serie de un índice representativo de sequías meteorológicas, tal como el SPI, calculada a partir de datos de precipitaciones medias mensuales en la cuenca del Dique La Quebrada, con la utilización de datos de precipitaciones estimadas por TRMM en la misma localización.

De esta manera se logró obtener una serie del índice SPI de 51 años; lo que permite observar los periodos secos intensos (además de periodos húmedos, entre otros) en una cuenca de gran interés regional, tal como lo es la cuenca del Dique La Quebrada.

Se observa la ocurrencia de periodos de sequías moderadas, severas y extremas tanto como de periodos húmedos de distintos niveles, lo cual evidencia la necesidad de considerar los extremos hidrológicos de manera integral, para la gestión y planificación de los recursos hídricos en el área de estudio.

En el análisis espacial y temporal realizado en este trabajo, fue posible observar que aquellas imágenes satelitales correspondientes a los meses de noviembre, describen mejor los periodos húmedos y/o secos de los años previos, en relación a las imágenes analizadas de los meses de junio y julio.

Por otro lado, en distintos sectores se observó un cambio en el tipo de cobertura vegetal y una notable disminución de la misma dentro del área de la cuenca, aumentando de esta manera el área correspondiente al suelo descubierto.

Para citar este informe: Elcano, G., Tomasini, S., y Vicario, L. 2019. Evaluación de sequías hidrometeorológicas en una cuenca de las Sierras Chicas de la provincia de Córdoba. Informe interno INA-CIRSA. Sitio web: <https://www.ina.gov.ar/cirsa/index.php?seccion=20>

REFERENCIAS

- Agencia Córdoba D.A.C.Y.T. Dirección de ambiente, 2003. Regiones naturales de la provincia de Córdoba. Gobierno de la provincia de Córdoba, marzo del 2003. P.29-37
- Campos, A. N, Figueroa Schibber, E. y García, A. G. 2014. Evaluación de la información satelital para el estudio de la dinámica hidrológica de la Llanura Pampeana. 2° Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires, Argentina.
- Cooperativa de Obras y Servicios Río Ceballos Ltda. 2012. Historia sobre el Cauce: una cronología tentativa. Revista El Cauce. Vol. 11, número especial, pp. 4-19.
- Cooperativa de Obras y Servicios Río Ceballos Ltda. Sitio web: <http://www.cooprc.com.ar/> (consulta: noviembre de 2018)
- Dracup, J.A, Lee, K.S. y Paulson, E.G. jr. On the definitions of drought. WRR. Vol.16, núm. 2, 1980, pp. 297-302.
- De La Cruz Burgos, J.M. y Muñoz García, G.A. 2016. Trabajo de grado: "Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del Programa de Reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el Municipio de Popayán, Cauca". Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Edwards, D. C. and McKee T. B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report 97-2, Departamento de Ciencia Atmosférica, Universidad del Estado de Colorado, Fort Collins, Colorado.
- McKee, T.B., Doesken N. J. and Kliest, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, Anaheim, CA. American Meteorological Society. Boston, MA. 179-184.
- NASA Homepage 2018. Sitio web: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/> (consulta: agosto de 2018).
- Organización Meteorológica Mundial. 2012. Índice normalizado de precipitación Guía del usuario © OMM-No 1090. ISBN 978-92-63-31090-3.
- Rasmussen, K. L., Choi, S. L., Zuluaga, M. D. and Houze R. A. Jr. 2013. TRMM precipitation bias in extreme storms in South America. Geophysical Research Letters, 40, 3457–3461, doi:10.1002/grl.50651.
- Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba. Nivel de Embalse de la Provincia de Córdoba. Sitio web: <http://www.cba.gov.ar/niveles-de-presas/> (consulta: noviembre de 2018).
- Velasco I. y Aparicio, J. 2004. Evaluación de índices de sequía en las cuencas de afluentes del río Bravo/Grande. Ingeniería Hidráulica en México, XIX (3), 37-53.
- Vicario, Leticia, 2008. Tesis de Maestría: "Evaluación de las sequías hidro-meteorológicas en la cuenca del dique San Roque. Córdoba". FCEfN –UNC.
- Vicario, L.; García, C.M.; Teich, I.; Dasso, C. 2014. Variabilidad de las sequías hidrometeorológicas en la región central de la Argentina. Memorias del IV Taller de Regionalización de precipitaciones Máximas. ISBN 978-987-45745-0-3. Provincia de Tucumán. Argentina
- Vicario, L. 2017. Tesis Doctoral: "Identificación y evaluación de sequías en cuencas seleccionadas de la Región Centro de Argentina". FCEfN-UNC.