

Análisis de escenarios críticos de demanda de agua en una cuenca de montaña mediante modelos hidrológicos continuos y distribuidos

*Javier Alvarez*¹, *César L. García*^{2, 3} y *C. Marcelo García*^{1,2}

¹ Centro de Estudios y Tecnología del agua (CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

³ Universidad Católica de Córdoba, Argentina

E-mail: javieralvarez.ic@gmail.com

RESUMEN: La ciudad de Villa Carlos Paz y localidades del sur del departamento Punilla de la provincia de Córdoba han cobrado un gran impulso turístico en las últimas décadas, acompañado de un importante crecimiento poblacional y un consecuente aumento en el consumo de agua potable. Los habitantes e industrias de esta localidad tienen como principal fuente de provisión de agua potable la escorrentía superficial del río San Antonio, afluente del dique San Roque, el cual a su vez provee a Córdoba Capital de agua potable. Si la población del departamento Punilla (que actualmente es del orden de 180.000 habitantes) continúa su crecimiento y su consumo de agua potable se sigue incrementando, se puede prever que la fuente no será suficiente para abastecer de agua a sus localidades. Además de estos procesos antrópicos, se deben considerar los impactos naturales debidos a eventos de sequías y variaciones de precipitaciones en espacio y tiempo. El peor escenario es la combinación de alta demanda de agua y poca producción de escorrentía superficial lo que puede ocasionar numerosos problemas económicos y conflictos sociales. Para poder mejorar el sistema de gestión de recursos hídricos y asistir a la toma de decisiones, es necesario saber cómo responden las cuencas de aporte ante distintos escenarios hidrometeorológicos y de demanda. Con este fin se utilizó en este trabajo un modelo hidrológico continuo y distribuido (JAMS), implementado y calibrado con datos hidrometeorológicos del CIRSA-INA (1992-2012). Se analizó la evolución temporal del caudal con respecto a diferentes demandas hídricas de la población (consumo actual y escenarios futuros) y distintos escenarios hidrometeorológicos, utilizando precipitación real y distintos escenarios simulados (incrementos y déficits de precipitaciones de 10, 20 y 30%). El modelo implementado permitió estimar caudales con precisión y analizar diferentes escenarios críticos para consumo.

INTRODUCCIÓN

El agua como recurso es un bien escaso con implicancias transversales a todos los aspectos vitales del hombre. En una cuenca con diversos usos del agua, como turístico, industrial, agropecuario y abastecimiento para consumo, se debe poder cuantificar dicho recurso en detalle para optimizar su administración. Las Sierras Grandes de Córdoba actúan como una importante reserva de escorrentía y en ellas se encuentra el Parque Nacional Quebrada del Condorito y la Reserva Hídrica Provincial Pampa de Achala. En esa región, las precipitaciones son interceptadas por el eje suelo-vegetación y la escorrentía es modulada hacia los

embalses. Este servicio ecosistémico es el responsable de mantener el flujo de agua que sostiene a los ecosistemas lóticos durante la época seca (Daily *et al.*, 1997). Los caudales de estiaje tienen vital importancia para la mayoría de las localidades de las sierras y el piedemonte ya que muy pocas tienen reservorios u otra fuente alternativa de agua.

La cuenca de montaña del río San Antonio, desemboca en el Lago San Roque, el reservorio más importante de la ciudad de Córdoba. Pero además el caudal del Río San Antonio sirve de fuente de agua potable a la ciudad de Villa Carlos Paz y a las poblaciones del sur de punilla: Cuesta Blanca, Icho Cruz, Tala Huasi, Mayu Sumaj y San Antonio. La población del departamento Punilla tiene localidades con la tasa de crecimiento más alta de la provincia (>35%) y actualmente cuenta con 180.000 habitantes. Si este crecimiento continúa, con su consecuente aumento de consumo de agua potable, se puede prever que el flujo superficial de sus ríos no será suficiente para abastecer de agua a sus localidades. Además, se deben considerar los impactos de eventos naturales de sequías y la alta variabilidad espacio temporal de las precipitaciones, característica propia de esta región de clima semi-árido.

En este trabajo se pretende estudiar la respuesta, expresada en escurrimiento superficial, de la cuenca del río San Antonio frente a diferentes condiciones de lluvia. Esto será llevado a cabo mediante un modelo matemático de simulación hidrológica "JAMS", un modelo continuo y distribuido que permite estudiar la cuenca con enorme nivel de detalle y . La observación de lluvias con sus caudales de respuesta es fundamental para la calibración del modelo JAMS pero además resulta necesario para relacionar los caudales de respuesta simulados con los observados in-situ, aún si en la serie observada faltaran datos o existieran errores en las mediciones.

Por último, este trabajo analiza mediante el modelo de simulación JAMS el impacto que podría ocurrir sobre el escurrimiento superficial ante la variación de la tasa de lluvia. Esta variación del caudal que escurre superficialmente impacta sobre los distintos usos del agua que sean directamente dependientes del mismo como: Abastecimiento de agua potable, riego, turismo, caudal ecológico, entre otros.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

La cuenca río San Antonio, caracterizada por un relieve montañoso, es uno de los principales tributarios del Lago San Roque, que embalsa las aguas escurridas en la cuenca alta del Río Suquía (o Primero). El módulo del Río San Antonio es de 4 m³/s pero este valor se fluctúa ampliamente entre épocas estivales y de estiaje. Tal es la variación observable que a los pocos días de una creciente, el caudal del río logra descender incluso por debajo del valor del módulo. En el caso del caudal de estiaje, éste históricamente ha oscilado entre 0,8 y 0,4 m³/s. El clima en esa zona es típico de la región semiárida, con concentración estival de lluvias y altas temperaturas y periodo de déficit estacional debido a un invierno seco. La precipitación media

anual en esa zona, calculada para el período 1945-1979 en 720 mm (García et al. 2014) y para el período 1992-2012 su valor fue de 852 mm (García 2013)

Se utilizó en este estudio, la delimitación de la cuenca de aporte del río San Antonio realizada por García (*et al. 2011*). La misma se definió utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) y un Modelo Digital de Elevación (MDE) proveniente del SRTM (Jarvis *et al. 2008*). La cuenca delimitada por este método está centrada en longitud 64°41'6.0'' O y latitud 31°29'45.6'' S. y tuvo un área de 504,5 km², perímetro de 144 km y un desnivel máximo de 1690 m.

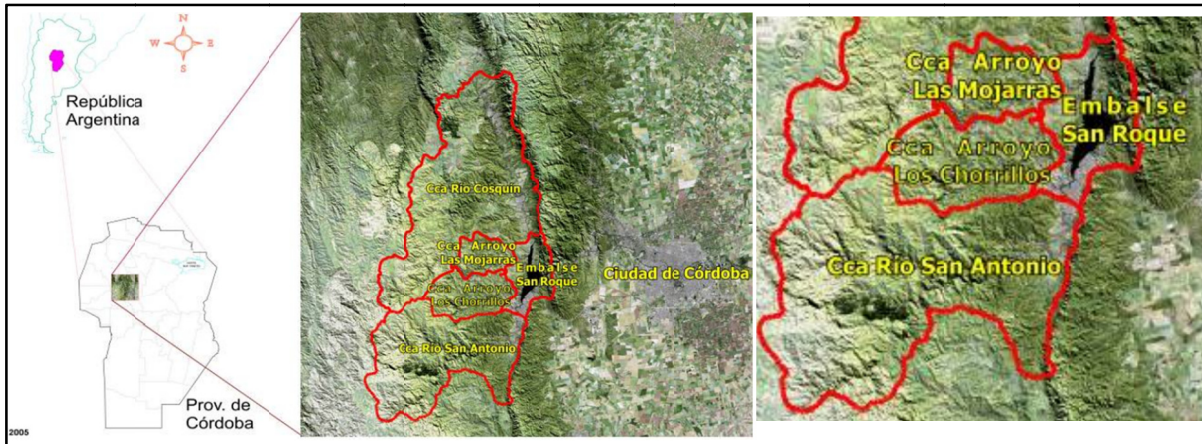


Figura 1: Cuencas de aportes de los tributarios del Lago San Roque, entre los que se encuentra la cuenca del Río San Antonio (García et al., 2014).

La Figura 1 muestra las principales cuencas que afluyen al Lago San Roque, se puede observar que la cuenca del río San Antonio es la segunda en tamaño con un área de aporte del 31% del total, luego del Río Cosquín, con el 54% del área total.

En las Sierras de Córdoba existe un sistema de alerta temprana de crecidas “STC” que consta de una red telemétrica de estaciones hidrometeorológicas e hidrométricas operada por el Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (CIRSA – INA). En la cuenca del río San Antonio se encuentran 12 de estas estaciones como se observa en la Figura 2.

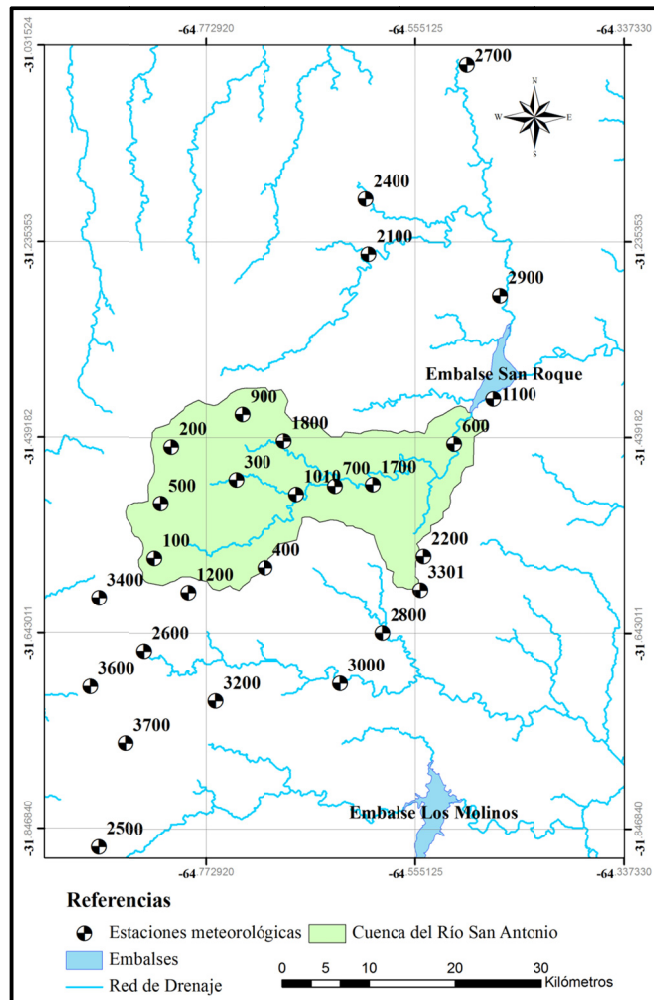


Figura 2: Área de Estudio y distribución de las estaciones de la Red Telemétrica del CIRSA-INA usadas en el modelo (García 2013).

Modelación hidrológica

Para el desarrollo del trabajo se empleó el modelo hidrológico JAMS., Jena Adaptable Modelling System, desarrollado por el grupo de investigadores del “Department of Geoinformatics, Hydrology and Modelling”, de la Friedrich-Schiller-University, Jena, Alemania. El modelo y su código fuente se encuentran disponibles en la web del grupo antes citado (<http://jams.uni-jena.de>). Este modelo se basa en la ecuación de balance hídrico y es del tipo continuo y distribuido en HRU (hydrological Responce Units). La simulación de los procesos se lleva a cabo en distintos módulos: interceptión y evapotranspiración, agua en el suelo, agua subterránea, tránsito lateral y tránsito en el cauce. La cuenca se representa como una serie de reservorios y HRU interconectados y los cálculos se realizan en un paso de tiempo fijo.

La Figura 3 muestra el esquema conceptual que sigue el modelo JAMS. En esta figura se observa como el caudal total simulado es construido a partir de la suma de componentes de caudales individuales que son calculados en el transcurso de la simulación para cada HRU. El modelo diferencia entre cuatro tipos de

caudales de acuerdo a su origen. RD1 es la componente de caudal directo, fuertemente afectada por las grandes dinámicas temporales. Está compuesta por las escorrentías superficiales debidas a lluvias en áreas húmedas e impermeables y deshielos de glaciares. El RD2 es la componente de caudal directo que reacciona significativamente más lento. RG1 simula el caudal de base de la zona próxima a la superficie con buena permeabilidad y humedad. Mientras que RG2, es la componente del flujo base de baja velocidad que resulta de un acuífero semi-confinado o confinado.

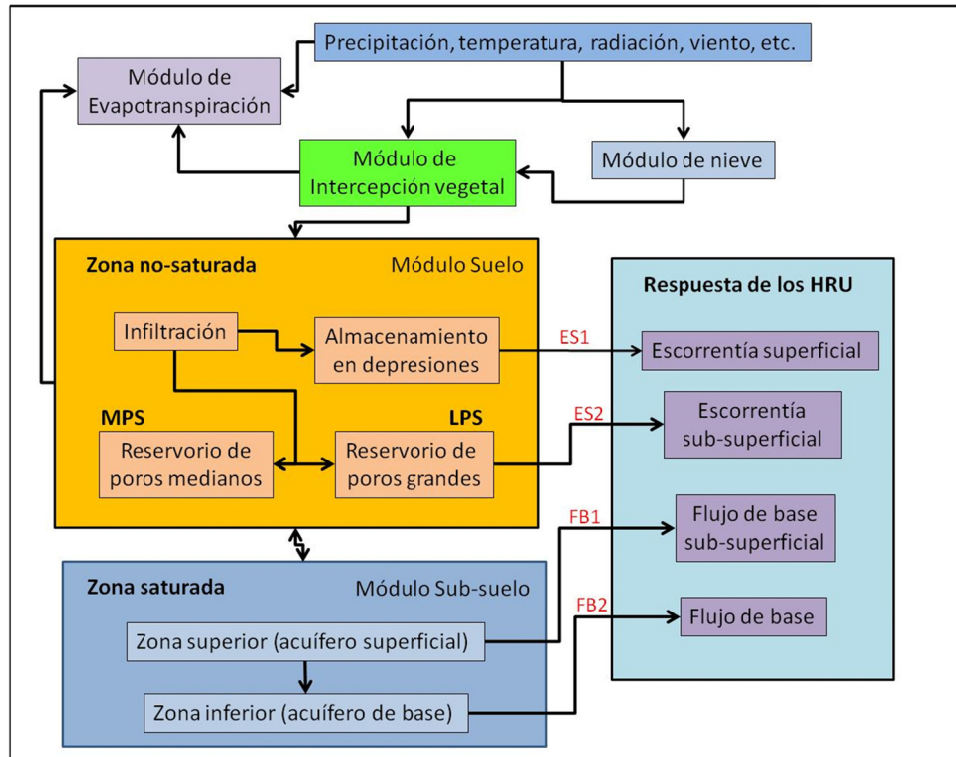


Figura 3: Estructura y anidamiento de los distintos contextos del modelo. Adaptado de Krause *et al.* (2009).

El módulo de la zona no saturada se estructura en unidades de procesos (infiltración, evapotranspiración) y unidades de almacenamiento (almacenamiento de poro medio: MPS y de poro grande: LPS). La capacidad de infiltración se estima con una función empírica de acuerdo al déficit de saturación y la tasa de infiltración máxima. Esta tasa se comporta como un umbral, superada la misma, el agua sobrante se almacena en las depresiones en el terreno o está disponible para la escorrentía superficial. Mientras que la precipitación infiltrada ingresa al MPS y LPS en función del grado de saturación del primero. El movimiento del agua en el suelo vertical y lateral se produce en el LPS, ya que el agua del MPS es retenida contra la fuerza de gravedad y solo puede extraerse por evapotranspiración.

El modelo fue implementado y calibrado con datos hidrometeorológicos del CIRSA-INA (1992-2013), más información sobre su parametrización y funcionamiento se puede encontrar en el trabajo de García (2013).

Datos y Escenarios

Los datos de lluvia y temperatura necesarios para realizar las simulaciones de este trabajo, provienen del CIRSA-INA y fueron preprocesados para remover errores y completar las series cuando había datos faltantes (García *et al.* 2012). En total se usaron datos de precipitación de 12 estaciones y de temperatura de 9 estaciones de la red (García 2013).

Para analizar la demanda de la población sobre el recurso hídrico de la cuenca del río San Antonio, se utilizaron 3 escenarios o niveles de demanda: Actual = $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$, Media = $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$, Proyectada = $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$. La demanda actual representa la extracción promedio sobre el flujo superficial que realiza la COOPI - Cooperativa Integral Regional de Provisión de Servicios Públicos, Vivienda y Consumo Limitada (cooperativa encargada de la administración de la planta potabilizadora de agua, entre sus principales actividades). La demanda proyectada representa la capacidad a largo plazo de la planta potabilizadora una vez se lleven adelante las obras planificadas para su expansión. La demanda Media es un valor intermedio entre los umbrales anteriores, pudiéndose definir como una etapa al mediano/corto plazo.

Se realizó un análisis de la capacidad para satisfacer la demanda de agua en función de la climatología real y de distintos escenarios de variaciones en los montos de las precipitaciones. Con la serie original de precipitaciones y su caudal simulado se puede estimar la cantidad de días en el año con demanda insatisfecha según el nivel de demanda. Cabe aclarar que la condición de demanda insatisfecha obviamente se presenta cuando el flujo superficial es menor al necesario para abastecer a la población. También se considera a la demanda como insatisfecha cuando al extraer el volumen requerido, el caudal del río resulta menor al caudal ecológico mínimo de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Para saber que sucede en ciclos de años secos o húmedos se realizaron escenarios de variación de montos de precipitación, aumentando o disminuyendo los valores originales en seis series nuevas: +10%, +20%, +30%, -10%, -20% y -30%. Luego se simularon los caudales de estos ciclos y se analizó el nivel de demanda insatisfecha como en el caso anterior.

Se determinaron los Desvíos Estándar para determinar la variación del año 2013 que será sintetizado a partir de los datos de lluvia. Para esto se comienza normalizando la serie completa, de 20 años de longitud en cada estación pluviométrica, con respecto a la media histórica local. Luego, se adopta aquella serie cuya media normalizada sea la más próxima al promedio de todas ellas y con un número de registros suficientemente grande. De este proceso resultó seleccionada la estación 1800. Posteriormente, se calcula la media mensual de cada mes de dicha estación. Con estos valores se determina la media mensual de los 20 años de serie. Por último, se determinan los desvíos estándar de las medias mensuales de cada año con respecto a cada media mensual de la serie. Éste es un dato interesante que brinda las bases para la elección de los porcentajes de variación de precipitación que serán combinados a posteriori, como oferta meteorológica. Estudio de los desvíos estándar de los valores de precipitaciones respecto a la media.

Los casos de variación de tasas de precipitación (oferta hidrometeorológica), antes descriptos son los siguientes siete:

- 1) 2012-30%_2013+0%;
- 2) 2012-30%_2013+30%;
- 3) 2012+0%_2013-30%;
- 4) 2012+0%_2013+0%;
- 5) 2012+0%_2013+30%
- 6) 2012+30%_2013-30%;
- 7) 2012+30%_2013+0%;

RESULTADOS

La implementación y calibración del modelo hidrológico para la cuenca del río San Antonio, se realizó obteniendo valores altos en los criterios de eficiencia (Tabla 1, García 2011) tanto para el período de calibración (1996-1997) como durante la fase de validación (1994-1996).

Tabla 1: Implementación y calibración del modelo JAMS para el río San Antonio de acuerdo a diferentes criterios de eficiencia y periodos de validación (García, 2011).

Criterios de eficiencias	Modelo J2K - JAMS		
	Calibración	Validación	
	1996-1997	1995-1996	1994-1995
Nash-Sutcliffe	0.89	0.88	0.63
Nash-Sutcliffe Log	0.73	0.68	0.53
Coef. de correlación de Pearson	0.90	0.89	0.63
Error volumétrico absoluto	2.47	86.69	53.03
RMSE	4.02	6.62	3.19
PBIAS	-0.19	-4.56	7.39

A partir del modelo adecuadamente calibrado y parametrizado (Tabla 1) se puede desarrollar el análisis de la cantidad de días con demanda insatisfecha que pone de manifiesto que para cada año y cada nivel de demanda (0.3, 0.6 y 0.9 m³/s), existe una gran variabilidad interanual del recurso superficial útil de la cuenca estudiada (figura 4).

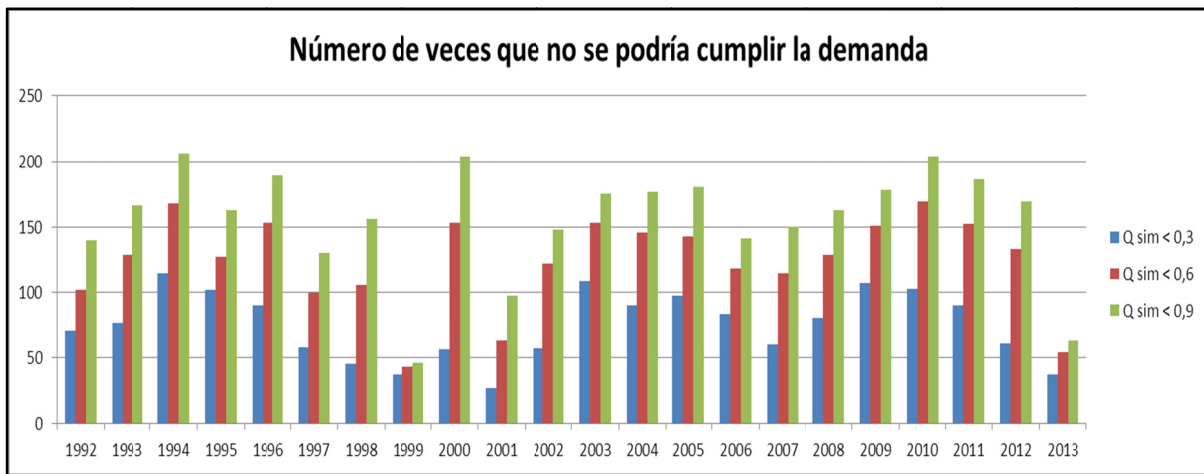


Figura 4. Cantidad de días con demanda insatisfecha, teniendo en cuenta que debe quedar un remanente de al menos $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal ecológico.

Se puede observar, en la Figura 4, la alta variabilidad que puede llegar a existir entre años consecutivos. Esto se debe a que la cuenca en estudio se ubica en una región de clima semi-árido. Tal es la magnitud de las oscilaciones que las variaciones entre años consecutivos pueden ser superiores al 50%.

De los datos analizados el año 2013 se muestra como el segundo más húmedo, hidrológicamente, de la serie de datos de 20 años de registro. Otras características observables es que los meses de Diciembre a Mayo registran caudales mayores que $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y pocas veces resultan menores a $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, los meses de Junio a Noviembre son variables, en general resultan menores a $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y muchas veces inferiores a $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los caudales resultantes de la simulación anterior son analizados con respecto a los obtenidos de simular series sintéticas realizadas a partir de la anterior pero aumentando o disminuyéndola en su totalidad en porcentajes, obteniendo seis series nuevas: +10%, +20%, +30%, -10%, -20% y -30%. Con las series sintéticas de caudales que resultan de cada simulación se contrasta a cada una con la original. Los resultados se exponen en la Figura 5, observándose que el comportamiento de las series respeta el patrón original, como es lógico esperar.

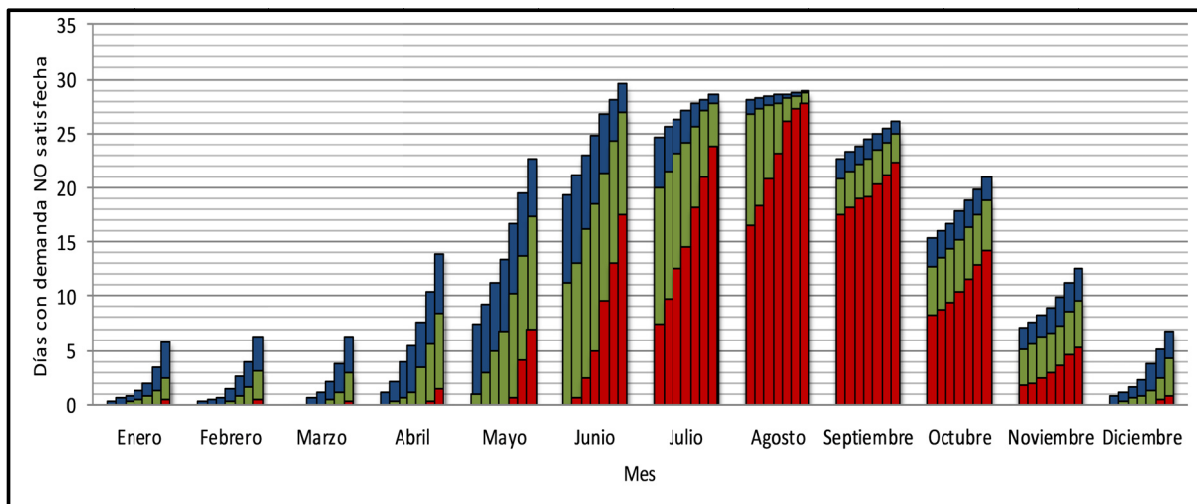


Figura 5. Número de días promedio por mes, en que los caudales simulados no permiten satisfacer demandas ecológicamente viables de $0.3\text{m}^3/\text{s}$ (rojo), $0.6\text{m}^3/\text{s}$ (verde) y $0.9\text{m}^3/\text{s}$ (azul). Las distintas barras representan seis variaciones en los montos de precipitaciones, de izquierda a derecha: +30%, +20%, +10%, 0% (control), -10%, -20%, -30%.

Se evidencia en la Figura 5 que el comportamiento de los caudales es muy similar entre los meses de Diciembre y Marzo. En estos meses por lo general las demandas mínimas de agua pueden ser satisfechas y las máximas en promedio sufrirán 5 días de faltante. Se observa además, que las épocas de estiaje críticas se dan entre Julio y Octubre, en estos meses el caudal medio no es suficiente para cumplir con el requerimiento de caudal ecológico en al menos 10 días. A esto se adiciona una total correspondencia entre el número de casos observados y la tasa de disminución de la precipitación respecto a la serie original y que, en general, los meses hidrológicamente húmedos no presentan cambios significativos en el número de días con caudales menores a $0.3\text{m}^3/\text{s}$.

Los resultados de este análisis permiten adicionar algunos comentarios. Es notable que frente a las variaciones de precipitaciones, los caudales simulados muestran mayor sensibilidad de respuesta para valores menores a $0.3\text{m}^3/\text{s}$. En lo que respecta a los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, aparecen brechas de respuesta similares entre las tres demandas hipotéticas ante las variaciones de precipitaciones. A diferencia de estos meses, en el resto de los casos estas brechas presentan grandes amplitudes, acentuándose entre $0.3\text{m}^3/\text{s}$ y $0.6\text{m}^3/\text{s}$, con hasta 10 días de insatisfacción. Resulta peculiar que para las mayores precipitaciones (+30%), las demandas mínimas pueden ser satisfechas perfectamente.

Concluido el análisis de sensibilidad, la Tabla 1 presenta los desvíos estándar de los promedios mensuales de días con demandas insatisfechas.

Tabla 2. Determinación del Desvío Estándar para cada mes a partir de los datos media mensual de la serie de 20 años de datos respecto a la media mensual de la serie.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D.E.	0.48	0.36	0.52	0.7	0.76	1.25	1.35	1.49	1.07	0.68	0.35	0.4

Este valor es importante porque determina la variación del año 2013 que será sintetizado a partir de esos datos. Se observa en la Tabla 1 que los valores de la desviación estándar oscilan entre 0.35 y 1.49. Se adopta un valor conservador de +/- 30%, por debajo a todos los desvíos observados. Esto permite estudiar las menores respuestas hidrológicas del sistema. Se espera que el sistema presente un impacto mayor en su comportamiento real.

A partir del análisis de desvíos estándar anterior, se analizan los caudales simulados para diferentes casos de variaciones de precipitaciones sólo en el último año (2013). Si bien existe correspondencia entre temperaturas y lluvias no se supuso variación de la temperatura, adoptando las mismas del año anterior (2012). Se estima entonces que esto produciría una atenuación del impacto de la lluvia pero permite observar el desarrollo de las situaciones hipotéticas.

En primera instancia se estudia el efecto que causa aumentar o disminuir en 30% las precipitaciones solo del anteúltimo año hidrológico (2012). El resultado se muestra en la Figura 6.

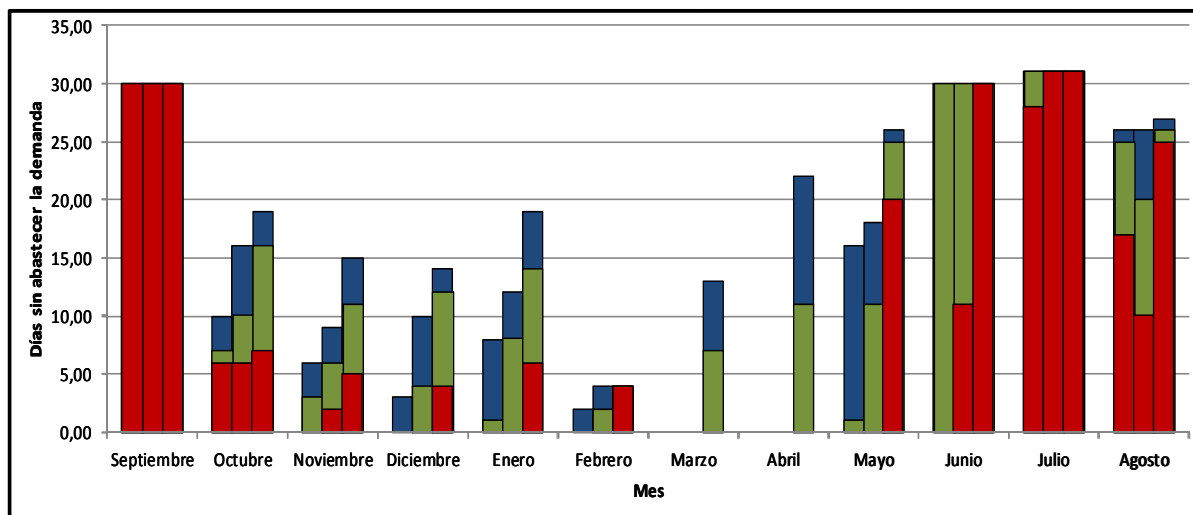


Figura 6. Número de días en cada mes del año 2012 en que los caudales simulados son menores a $0.3\text{m}^3/\text{s}$ (rojo), $0.6\text{m}^3/\text{s}$ (verde) y $0.9\text{m}^3/\text{s}$ (azul) de tres casos de precipitaciones. Variaciones mensuales en sentido decreciente de izquierda a derecha: +30%, 0%, -30%.

La variación de la precipitación tanto en +30% como en -30% se inicia con el año hidrológico en el mes de Septiembre del 2011. Esto se evidencia en la Figura 6, al ver que transcurren aproximadamente cuatro meses hasta que se acentúa la diferencia de la respuesta en los caudales para los tres casos simulados.

Otro resultado es un claro incremento de los valores de caudales simulados al aumentar en 30% la tasa de lluvia en el año 2012, ya que los días en que no se logra suministrar el caudal ecológico (rojo) son muy inferiores que en el caso de no variar los datos de precipitaciones. Al disminuir las lluvias en un 30% se vislumbra un claro incremento en la cantidad de días en que los caudales no son suficientes para abastecer las demandas Media de $0.6\text{m}^3/\text{s}$ y $0.9\text{m}^3/\text{s}$, incluso en los meses del período estival. Es notoria la falta de sensibilidad de los caudales menores en los meses de Julio y de Septiembre, pertenecientes al período de estiaje.

Se observa en la figura 4 además, que una disminución de un 30% en la tasa de precipitaciones muestra su efecto a partir de Mayo, con 20 días sin cumplir con el caudal ecológico. Y para un aumento de la tasa en un 30% la insatisfacción del caudal ecológico se observa recién en Julio, siendo que normalmente es en Junio.

Un análisis similar al anterior se desempeñó para el año 2013 pero para siete situaciones diferentes, obteniendo como resultado la Figura 7. Entre ellas se plantean las variaciones analizadas en la Figura 6 pero se las combina con diferentes casos de variaciones de lluvias en el año 2013 con el objetivo de analizar fluctuaciones de los caudales simulados.

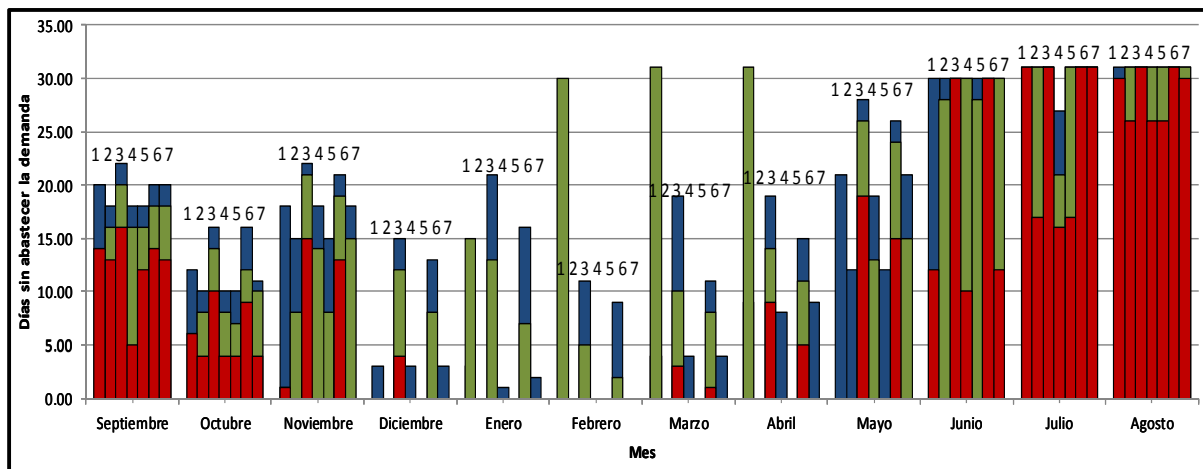


Figura 7. Número de días en cada mes del año 2013 en que los caudales simulados son menores a $0.3\text{m}^3/\text{s}$ (rojo), $0.6\text{m}^3/\text{s}$ (verde) y $0.9\text{m}^3/\text{s}$ (azul) de siete casos de precipitaciones. Variaciones mensuales en sentido decreciente de izquierda a derecha: 1) 2012-30%_2013+0%; 2) 2012-30%_2013+30%; 3) 2012+0%_2013-30%; 4) 2012+0%_2013+0%; 5) 2012+0%_2013+30%; 6) 2012+30%_2013-30%; y 7) 2012+30%_2013+0%.

A partir de los resultados mostrados en la Figura 7 se pueden hacer algunas observaciones interesantes. Tal es el caso de las situaciones Nro. 1 (2012-30% y 2013+0%) y Nro. 7 (2012+30% y 2013+0%), siendo estas muy similares entre sí para la época estival. Sin embargo, en la situación 1 se observa que en la época de estiaje tiene grandes problemas para satisfacer las mayores demandas ($0.9\text{m}^3/\text{s}$), agravándose ante la demanda Media ($0.6\text{m}^3/\text{s}$) entre los meses de Febrero y Abril.

Para el caso de un año normal y posteriormente un año seco (situación 3: 2012+0% y 2013-30%) se pueden ver un resultado lógico y otro no tanto. El primero es un caso desfavorable ante el año hidrológico de datos sin modificarlos aumentando considerablemente el número de días sin satisfacer el caudal ecológico, el mismo comportamiento que el detallado en el párrafo anterior. El otro resultado observado es que este caso es menos conveniente que el de un año seco pero con el siguiente sin sufrir variaciones en las precipitaciones (situación 1: 2012-30% y 2013+0%), incluso percibiéndose una variación muy grande entre los números de días en que el caudal ecológico no lograría ser satisfecho. Contrario al inconsciente colectivo referido a que el clima tiene memoria (García, 2012).

Una situación en que representaría un gran esfuerzo de gestión satisfacer el caudal ecológico es la sexta, en que luego de un año húmedo (2012+30%) se presenta un año seco (2013-30%). Se observa que este caso es más desfavorable para las demandas más críticas que la situación Nro. 1, donde la tasa de precipitación decrece en el primero de los últimos años y no se registren modificaciones en las tasas del último (2012-30% y 2013+0%). Sin embargo, es levemente más favorable que el caso presentado en el párrafo anterior (situación 3), en que el primero de los dos últimos años no variase la tasa de precipitación y en el último disminuyese (2012+0% y 2013-30%).

Puede apreciarse de la Figura 7 que los casos más favorables tienden a ser las situaciones 2 (2012-30% y 2013+30%) y 5 (2012+0% y 2013+30%). Estos casos muestran en general un posicionamiento por debajo de los valores que representan las demás situaciones, en cuanto a número de días con demandas insatisfechas. Un comportamiento muy próximo al anterior muestra la situación 4 (2012+0% y 2013+0%), pero levemente más desfavorable.

CONCLUSIONES

El modelo implementado permitió estimar caudales con precisión y analizar diferentes escenarios críticos para consumo. La atención se centró en analizar principalmente la no-satisfacción de la demanda de $0.3\text{m}^3/\text{s}$. Esto es debido a que aquél es el módulo actual que aproximadamente se extrae del río San Antonio, Provincia de Córdoba, para abastecer a las localidades Villa Carlos Paz y aquellas aledañas a ella.

Entre Julio y Octubre si el consumo de agua es de $0.3\text{ m}^3/\text{s}$, la demanda no llega a ser abastecida. Esto es un problema para la población actual ya que representa su consumo actual. Aunque llueva hasta un 30% más que lo normal, el abastecimiento de la población es crítico entre Julio y Octubre.

Se determinó que en los 20 años de registros las precipitaciones han oscilado en un rango de entre 0.35 y 1.5 el valor de la media. Estas amplias fluctuaciones son propias del clima en que se encuentra la cuenca. Se operó con fluctuaciones del +/- 30% considerando como un escenario optimista.

El escenario más desfavorable observado fue cuando luego de un año hidrológicamente normal, el año siguiente disminuyese la tasa de precipitaciones (2012+0% y 2013-30%). Además se observó una cierta

memoria en el sistema, ya que luego de años secos (2012-30%), se observa que en años sin variaciones los caudales de respuesta simulados son desfavorables hasta Mayo del año siguiente, aproximadamente. Es decir, hasta 9 meses después de que cesó la variación de lluvias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Eliana Jorquera, Juan F. Weber, Santiago M. Reyna – REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE EN LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA E INTEGRADA. IFRH, INA (Buenos Aires, Argentina).
- César Luis García, Franziska Zander, Sven Kralisch, Andrés Carlos Ravelo, Carlos Marcelo García y Wolfgang-Albert Flügel – IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN INTEGRAL PARA EL MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS HIDROLÓGICAS. IFRH, INA (Buenos Aires, Argentina).
- Nicolás Cavallera, César Luis García, Carlos Marcelo García y Andrés Carlos Ravelo (2012). RELACIÓN ENTRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL Y EL PATRÓN DE PRECIPITACIONES EN UNA CUENCA SEMIÁRIDA DE LAS SIERRAS DE CÓRDOBA, ARGENTINA. IFRH, INA (Buenos Aires, Argentina).
- García, César Luis. (2013). UTILIZACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL Y TERRESTRE PARA EL MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO HÍDRICO DE UNA CUENCA SERRANA EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA. Tesis Doctoral para optar al título de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Carlos Marcelo García, Clarita María Dasso, Carlos Catalini, Javier Alvarez, Gustavo M. Barchiesi, José M. Díaz Lozada, Flavia Bazzano, Javier Gómez, Nicolás F. Guillén y Ana I. Heredia Ligorria (2014). EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE UN EVENTO PLUVIOMÉTRICO EXTRAORDINARIO EN LA CUENCA ARROYO “LOS CHORRILLOS”, PROVINCIA DE CÓRDOBA. IV Taller de Regionalización de Precipitaciones Máximas (Tucumán, Argentina).
- García Cesar Luis, Peter Krause, Carlos Marcelo García, Andrés Carlos Ravelo, Wolfgang-Albert Flügel. 2011. WATER AVAILABILITY FOR A GROWING POPULATION IN THE FACE OF CLIMATE AND LAND USE CHANGE. EN: RESEARCH AWARD FOR YOUNG SCHOLARS 2011-“ADAPTATIVE WATER MANAGEMENT: LOOKING TO THE FUTURE” (Ed. R.S. da Rocha Sampaio, M. Monjardim Barbosa and A. Iglesias Peralta). FGV Direito RIO, Pg 79-94, ISBN 978-85-63265-16-6. También presentado como trabajo completo en el XIVth IWRA World Water Congress (Recife, Brazil)
- Krause P., Bende-Michl U., Fink M., Helmschrot J., Kralisch S. y Kuenne A. 2009. PARAMETER SENSITIVITY ANALYSIS OF THE JAMS/J2000-S MODEL TO IMPROVE WATER AND NUTRIENT TRANSPORT PROCESS SIMULATION - A CASE STUDY FOR THE DUCK CATCHMENT IN TASMANIA. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia, pp. 3179-3176.
- Jarvis A., Reuter H. I., Nelson A. y Guevara E. 2008. HOLE FILLED SEAMLESS SRTM DATA V4.2. Publicado en internet, disponible en Centre for Tropical Agriculture (CIAT) <http://srtm.csi.cgiar.org>. Activo en Agosto 2014.