

**ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO MENDOZA (MENDOZA, ARGENTINA):
CUANTIFICACIÓN DEL RÉGIMEN PLUVIO-NIVAL Y PROPUESTA DE MODELO
PARA MEJORAR LA GESTIÓN INTEGRAL DE SUS RECURSOS**

Investigador responsable

MINER VEGA, ANAHÍ JAE¹

Palabras Clave

Río Mendoza, Imágenes satelitales, Índice de Nieve, Gestión Hídrica, Modelación Hidrológica

Cómo citar este artículo

Miner Vega, Anahí J. (2013) "Análisis de la cuenca del río Mendoza (Mendoza, Argentina): Cuantificación del régimen pluvio-nival y propuesta de modelo para mejorar la gestión integral de sus recursos". Publicado en Investigación-Publicaciones virtuales, Universidad de Congreso. URL del artículo <http://www.ucongreso.edu.ar/investigacion>

ÁREA DISCIPLINAR: GESTIÓN AMBIENTAL, HIDROLOGÍA

TÍTULO DEL ARTÍCULO: "Análisis de la cuenca del río Mendoza (Mendoza, Argentina): Cuantificación del régimen pluvio-nival y propuesta de modelo para mejorar la gestión integral de sus recursos"

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan los recursos hídricos superficiales de la cuenca del río Mendoza. Se evalúa la variación de la superficie de nieve con imágenes satelitales y se elabora un modelo hidrológico para predecir caudales, basado en la superficie nival, volumen de agua en forma de nieve y temperatura.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Mendoza (centro oeste argentino), presenta un régimen hídrico basado en la acumulación y fusión de la nieve, manifestándose los picos máximos de caudal en verano. Al pie de la cordillera, se asienta uno de los oasis irrigados más grandes de Argentina, incluyendo una zona urbana de más de un millón de habitantes.

Agua abajo de las zonas irrigadas se encuentra un área que no posee derechos de riego, donde la precipitación llega a 80mm anuales y que recibe el sobrante del agua, siendo esta muy escasa y esporádica (Abraham, E.M. 2002, Abraham, E.M. 2000). Se están llevando a cabo medidas estructurales para mejorar la

¹ E-mail: anahijael@yahoo.com.ar

conducción de los excedentes de agua de riego y de la zona urbana (Salomon et al.). Sin embargo las medidas “no estructurales” para mejorar la situación de estas áreas, son escasas. Por estos motivos, se propone el estudio de la nieve que da origen al río Mendoza, su respuesta ante las variaciones climáticas y su afectación sobre el caudal.

Los objetivos de este trabajo son: 1) analizar la superficie cubierta de nieve en la zona alta de la cuenca, que da origen al río Mendoza, mediante teledetección espacial y 2) Elaborar un modelo hidrológico basado en la cubierta de nieve con el fin de obtener su equivalente en volumen de agua y, mediante la relación con los diversos factores climáticos, lograr una predicción de caudal confiable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de Imágenes Satelitales

Para el estudio de la superficie de nieve se utilizaron imágenes MODIS. Se pueden descargar a diario y se emplea el producto MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid (MOD10A1) con una resolución de 500 x 500m² elaborado y distribuido por el National Snow and Ice Data Center. Éstas contienen píxeles identificados con nieve mediante el cálculo del Índice Normalizado de Nieve (NDSI) que se basa en el alto contraste entre la banda verde y el infrarrojo medio. Se utilizó un algoritmo de Matlab para identificar la superficie cubierta de nieve, nubes, suelo y otros, dentro de la cuenca especificada.

$$\text{NDSI} = (\text{Banda 4} - \text{Banda 6}) / (\text{Banda 4} + \text{Banda 6})$$

Ecuación (1)

Por otro lado, se aplicó el mismo índice con un Sistema de Información Geográfica en imágenes Landsat TM5. Éstas tienen muy buena resolución espacial, (píxeles de 30x30m²) pero frecuencia temporal cada 16 días, lo que dificulta el análisis.

Modelo de predicción de caudales

Para la predicción del caudal medio diario del río Mendoza en la estación Guido se planteó realizar una correlación lineal múltiple. Se analizaron a escala diaria las siguientes variables climáticas disponibles en el período 2001-2010: Equivalente agua nieve, superficie de nieve (obtenida de las imágenes MODIS); lluvia; caudal; temperaturas máximas, mínimas y medias; altura de la isoterma de cero grados y altura media de la cota de nieve. Como el régimen del río es nival, la respuesta de algunas variables no es inmediata y las correlaciones de datos desfasados varios días fueron exploradas. Las variables que presentaron los mejores coeficientes de correlación con el caudal e independientes entre sí fueron seleccionadas para ser datos de entrada del modelo. Finalmente se seleccionaron 2 años (2001-2002) como período de calibración y 8 años (2003-2010) como período de validación del modelo.

RESULTADOS

Imágenes Satelitales

Las diferencias en superficie que se presentan entre imágenes Landsat y MODIS pueden deberse a la diferencia en la resolución, a la máscara de nubes utilizadas en el producto MOD10A1, al algoritmo utilizado para la delimitación de la nieve con Matlab con respecto al SIG, etc. sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas.

Se pueden observar estas diferencias entre MODIS y Landsat en la figura que se muestra a continuación (figura 1)

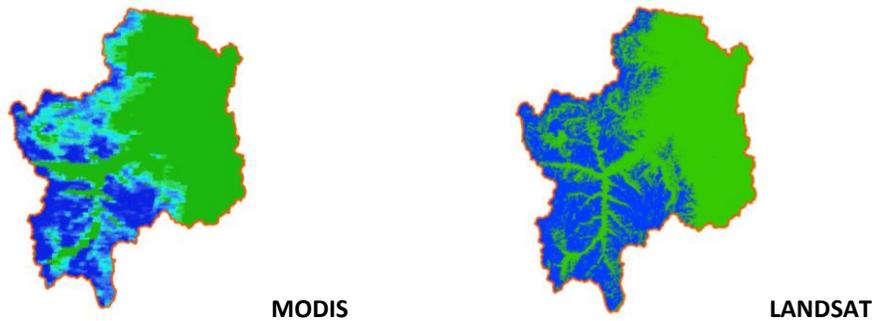


Figura 1: Diferencias de resolución entre imágenes MODIS y Landsat del día 28 de septiembre de 2007. Los colores azules son nieve y el verde la superficie sin nieve.

La cantidad de nieve, medida como superficie con las imágenes satelitales y como equivalente de agua en nieve (Departamento General de Irrigación) ha disminuido a lo largo de la última década. Esta tendencia se muestra en la figura 2.

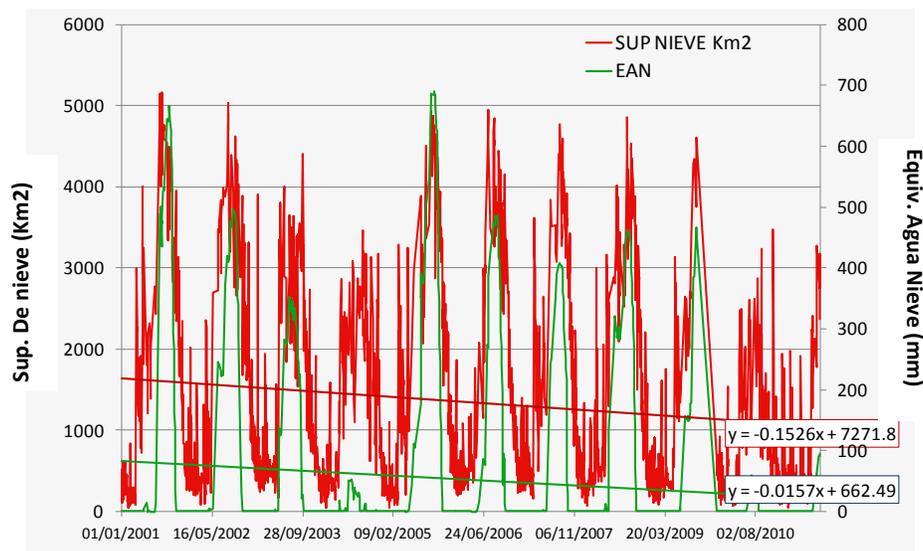


Figura 2: Evolución temporal de la superficie de nieve y del EAN medida por el Departamento General de Irrigación en la estación meteorológica de Toscas

Modelo de Predicción de Caudales

Se analizaron 30 variables hidrometeorológicas medidas en las diferentes estaciones dentro de la Cuenca del Río Mendoza. Descriptores estadísticos, gráficos de evolución temporal y una matriz de correlación comparativa entre cada uno de los factores fueron realizados.

Las variables que presentaron una mayor correlación estadística y visual con el caudal de la estación Guido fueron estudiados en mayor detalle. Se elaboraron correlogramas de las variables seleccionadas para determinar el desfase que mejor se ajusta a los datos y que mejora la relación entre las variables.

Las variables seleccionadas finalmente fueron: x_1 = Superficie de nieve diaria a partir de las imágenes MODIS (Km^2), con un desfase (respecto al caudal en Guido) de 132 días previos ($r^2 = 0.6221$); x_2 = Equivalente agua nieve diario de la estación Toscas (mm), con un desfase de 150 días previos ($r^2 = 0.6286$) y x_3 = Temperatura media diaria de la estación Toscas ($^{\circ}\text{C}$), con un desfase de 1 día ($r^2 = 0.4791$).

El ajuste del modelo de regresión múltiple se realizó utilizando la ecuación (2), encontrando los coeficientes que minimizaran el error cuadrático medio de los valores simulados con los observados (3).

$$Q_{\text{Guido}} = ax_1 + bx_2 + cx_3 + d \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\min \left(\frac{(Q_{\text{obs}} - Q_{\text{sim}})^2}{n} \right) \quad \text{Ecuación (3)}$$

El modelo de regresión múltiple, con las variables seleccionadas produjo caudales que se asemejan a los observados (Figura 3) con un coeficiente de correlación entre los caudales observados y los estimados de 0.8610.

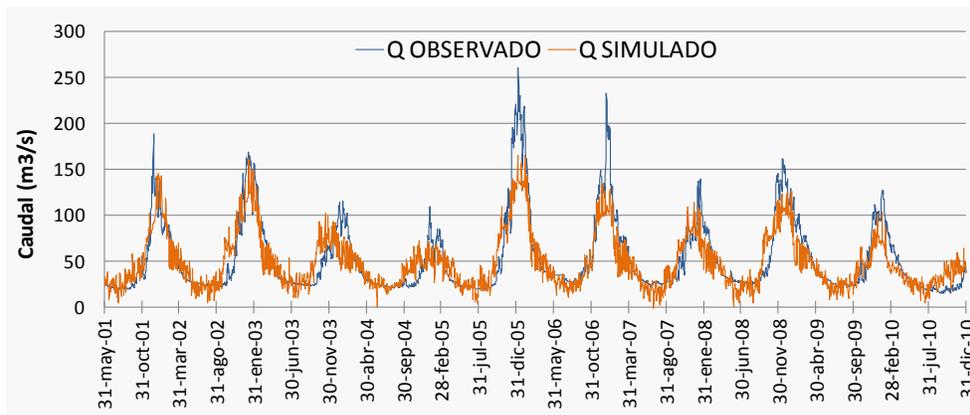


Figura 3. Resultado del modelo de predicción: Hidrograma de caudales Observados y Simulados

El modelo constituye una forma de predecir la magnitud los caudales diarios esperados después de una temporada invernal 4-5 meses antes de que ocurra el escurrimiento de la montaña. Existe una falla en la predicción de caudales máximos, lo cual es ocurre por la falta de información de imágenes satelitales (cobertura de nubes en temporada invernal).

Conclusiones

La variación interanual es elevada en los factores climáticos de la cordillera, por lo que con este estudio de los últimos 10 años, es difícil asegurar que la tendencia se deba a los efectos del cambio climático, sin embargo se evidencian disminuciones en la superficie cubierta de nieve. Esto, sumado a la disminución de superficie y volumen de glaciares, junto con los aumentos de precipitación líquida en verano implica un evidente efecto sobre el caudal del río Mendoza, por lo que se hace cada vez más necesaria la mejora en la gestión integrada de los recursos hídricos. Con las herramientas aportadas en el presente estudio, se puede inferir la tendencia y las modificaciones que habrá que llevar a cabo dentro de la administración para solventar las necesidades futuras.

La validación de las imágenes MODIS y la posibilidad de estimar la superficie cubierta de nieve casi a diario, ha facilitado la construcción de un modelo para predecir los caudales del río Mendoza en la estación Guido, pocos metros antes de la entrada al embalse Potrerillos.

La utilización de otros métodos como redes neuronales, pueden mejorar la predicción del caudal y, con esto, definir anticipadamente las actuaciones que se deben llevar a cabo tanto en la gestión del embalse como en la distribución del agua para riego. Por medio del módulo OPTIGES, del programa Aquatool, se pueden establecer reglas de operación considerando los caudales proyectados, logrando una mejor eficiencia de distribución del agua y reduciendo los déficits.

Agradecimientos: El presente trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de Lenín Henríquez, René Garreaud y Claudio Bravo de la Universidad de Chile, Sebastián Crespo, Mariano Masiokas de IANIGLA-CCT, CONICET Mendoza, Abel Solera, Javier Paredes y otros miembros del IIAMA, Universidad Politécnica de Valencia. Financiamientos recibidos de Fundación Carolina, Universidad Politécnica de Valencia y Universidad de Congreso.

Referencias

- Abraham, E.M. 2000. *Recursos y problemas ambientales de la Provincia de Mendoza. En: Argentina. Recursos y problemas ambientales de la zona árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja.* Abraham, E.M. and Rodríguez Martínez, F. (Eds.) 15-23. Andalucía, España
- Abraham, E.M. 2002. *Lucha contra la desertificación en las tierras secas de Argentina; el caso de Mendoza. En: El agua en Iberoamérica. De la escasez a la desertificación.* Fernández Cirelli, A. and Abraham, E.M. (Eds.) CYTED XVII. 27-44.
- Bergström, S., 1995. *The HBV model, computer models of watershed hydrology* (editor: V.p. Singh). Water Resources Publications.
- Bradley, R. S., F. T. Keimig, and H. F. Diaz (2004), *Projected temperature changes along the American cordillera and the planned GCOS network*, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L16210, doi: 10.1029/2004GL020229.
- Departamento General de Irrigación. 2006. *Plan director del Río Mendoza.* Departamento General de Irrigación - Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Gobierno de Mendoza. 82pp. Mendoza
- Hall, D.K., V.V. Salomonson, and G.A. Riggs. 2006. *MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid. Version 5.* [2001 to 2013]. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center.
- Hall, D.K.; Riggs, G.A.; Salomonson, V.V.; DiGirolamo, N.E. y Bayr, K.J. 2002. *MODIS snow-cover products. Remote Sensing of Environment.* **83** (1-2): 181-194pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* 989pp. New York, USA
- Salomón M., Abraham E.M., Soria D. *Propuesta de abastecimiento hídrico al tramo inferior y humedales asociados de la cuenca del río Mendoza (Argentina).* 14pp. Publicado en: http://www.asicprimerazona.com.ar/asic/publicaciones/prop_abast_hidrico_tramo_inf_rio_mza.pdf
- Salomonson, V.V. y Appel, I. 2004. *Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index.* *Remote Sensing of Environment.* **89** (3): 351-360pp.
- Villalba, R. 2008. *Cambios Climáticos Regionales en el Contexto del Calentamiento Global.* IV Jornada de Riego y Fertiliriego. 6pp. Mendoza, Argentina