

INFORME HIDROMETEOROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO COLORADO: UN INSTRUMENTO PARA LA TOMA DE DECISIÓN

Carolina M., Aumassanne^a; Patricio, Oricchio^b; María E., Beget^b; María L., Masseroni^a; Dardo R., Fontanella^a; Ayelen C., Varela^a; Natalia, Gattinoni^b

^a Agencia de Extensión Rural de INTA 25 de Mayo, La Pampa-

^b Instituto de Clima y Agua, CIRN, CNIA.

*General Pico 720, CP 8201, Tel 011-1568480151, e-mail: *aumassanne.carolina@inta.gob.ar

Web: <https://inta.gob.ar/coloniaventincincodemayo>

Resumen

En cuencas de régimen nival como es el caso de la cuenca del río Colorado, las variaciones espaciales y temporales de la cubierta de nieve, determinan la disponibilidad de agua, dado que la superficie cubierta de nieve es un claro indicador de la cantidad de recursos hídricos almacenados. En este contexto de cambio global y variabilidad climática y con una demanda creciente de agua, es necesario contar con información que permita conocer el estado, cantidad y calidad de los recursos hídricos. Existe información satelital y modelos regionales climáticos que permiten estimar las principales componentes del balance de agua, resultando en una interesante fuente de información complementaria de estaciones nivométricas e hidrológicas. El presente trabajo de divulgación tiene como objetivo presentar el informe hidrometeorológico que publica el INTA periódicamente, su alcance y la metodología empleada. Este instrumento contiene información actualizada de la superficie cubierta de nieve, el caudal del río, y su calidad de agua, la relación de estas variables con los promedios históricos, y a su vez, presenta pronósticos meteorológicos a corto, mediano y largo plazo. De esta manera, provee información de base esencial para la toma de decisiones relacionadas a la planificación y el manejo integral del recurso hídrico en la cuenca del río Colorado.

Palabras clave: cuenca, nieve, caudal, calidad, pronósticos.

Introducción

Las condiciones climáticas y las características físicas particulares de una cuenca, son las que determinan el funcionamiento e influyen en la descripción de la dinámica del ciclo hidrológico. Este funcionamiento se basa en los principios del ciclo del agua y sus relaciones con el suelo, la cobertura y uso de la vegetación, la topografía y el agua, en tiempo y espacio. Debido a ello, al estudiar una cuenca hidrográfica se analiza y trata de describir el comportamiento del agua superficial y subterránea. El conocimiento particular del movimiento del agua superficial en una cuenca permite organizarla, ordenarla y planificarla. Por ello, la caracterización del ciclo hidrológico generará un diagnóstico básico para todo estudio en esta unidad hidrográfica.

La nieve es la componente más importante del ciclo hidrológico (Haefner *et al.*, 1997), dominando la hidrología regional de gran parte del mundo. Una quinta parte de la población mundial depende de la nieve o glaciares, generándose en estas áreas una cuarta parte del producto interno mundial (Rittger *et al.*, 2013). Particularmente, en Argentina los cuerpos de hielo constituyen componentes cruciales del sistema hidrológico de montaña y son reconocidos como “reservas estratégicas” de agua para las zonas bajas adyacentes y gran parte de la diagonal árida de país (Inventario Nacional de Glaciares, 2018). La nieve que se acumula cada invierno en la Cordillera de los Andes constituye la principal fuente de agua para los ríos argentinos. En años secos o con baja precipitación nival, los glaciares tienen una contribución muy importante al caudal de los ríos andinos, ya que aportan volúmenes significativos de agua de deshielo a la escorrentía, ayudando a minimizar los impactos de las sequías en las actividades socioeconómicas en los oasis de regadío.

En los oasis productivos del centro oeste de Argentina, toda la actividad agrícola, industrial, hidroeléctrica y los asentamientos humanos, dependen del agua proveniente de la fusión de la nieve y de los cuerpos de hielo que se encuentran en las altas cumbres de la Cordillera de los Andes. En este sentido, por el extenso recorrido del recurso y las diversas actividades que consumen y vierten agua a la cuenca, es sumamente importante, contar con información de la calidad de agua que está ingresado a cada sistema. Específicamente, la calidad del agua para riego afecta el rendimiento de los cultivos y a las propiedades del suelo, la misma está determinada principalmente por la cantidad y tipo de sales que la constituyen (Masseroni *et al.*, 2018).

En cuencas de régimen nival como es el caso de la cuenca del río Colorado, las variaciones espaciales y temporales de la cubierta de nieve, determinan la disponibilidad de agua, dado que la superficie cubierta de nieve es un claro indicador de la cantidad de recursos hídricos almacenados. Actualmente, existe la posibilidad de contar con información derivada de sensores remotos para cuantificar la cobertura de nieve y conocer con algunos meses de anticipación el volumen de agua que estaría disponible para los diversos usos (urbano, agrícola, minero, entre otros). Además, existen otras fuentes de información que permiten estimar componentes del balance de agua, resultando en una interesante fuente de información complementaria de estaciones nivométricas e hidrológicas. De esta forma, se presentan pronósticos a corto y mediano plazo que permiten planificar y gestionar de manera integral los recursos hídricos a escala de cuenca. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo presentar el informe hidrometeorológico que publica el INTA periódicamente, su alcance y la metodología empleada. Este instrumento contiene información actualizada de la superficie cubierta de nieve, el

caudal del río, y su calidad de agua, la relación de estas variables con los promedios históricos, y a su vez, presenta pronósticos meteorológicos a corto, mediano y largo plazo. De esta manera, provee información de base esencial para la toma de decisiones relacionadas a la planificación y el manejo integral del recurso hídrico en la cuenca del río Colorado.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Este trabajo tiene distintas escalas de abordaje, en primer lugar, en las subcuencas del Grande y del Barrancas, que se corresponden con la cuenca activa del río Colorado, se estima la cobertura de nieve; y se analiza el caudal en Buta Ranquil, primera estación de aforo del río Colorado, y en Paso Alsina (Buenos Aires) en el ingreso al área bajo riego del Valle Bonaerense del río Colorado. Por otro lado, se analiza la calidad de agua en dos estaciones, Punto Unido, 25 de Mayo (La Pampa) y Paso Alsina (Buenos Aires). Y por último toda la cuenca del río Colorado para el análisis y presentación de pronósticos (Figura 1).

El río Colorado se origina en la confluencia de los principales afluentes, los ríos Grande y Barrancas, y recorre alrededor de 1200 km atravesando parte de las provincias de Mendoza, Neuquén, Río Negro, La Pampa y Buenos Aires. Tiene un derrame anual promedio de 4380 hm³ y la superficie total de su cuenca es de 47.459 km². Su caudal medio anual es de 138,8 m³.s⁻¹ (COIRCO, 2015), presentando una marcada estacionalidad primavero-estival, atribuida a su régimen nival. El río Colorado adquiere la tonalidad que le da nombre, a partir de los sedimentos que provienen de secuencias clásticas (areniscas, pelitas y conglomerados). Estas unidades sedimentarias están intensamente afectadas por el proceso de erosión fluvial, por cursos estacionales, tributarios locales del río, al cual llegan en general mediante extensos conos aluviales. Esta condición se mantiene hasta el embalse de Casa de Piedra, donde la carga clástica transportada se deposita.



Figura 1. Ubicación del área de estudio, sitios de aforo y sitios de muestreo.

Fuentes de información y metodología

El informe se elabora desde la Agencia de Extensión Rural INTA 25 de Mayo (La Pampa) en colaboración con el Instituto de Clima y Agua de INTA Castelar y la Estación Experimental Agropecuaria de Hilario Ascasubi. Es publicado cada dos meses desde el año 2020. A continuación, se detalla la metodología utilizada en cada una de las variables analizadas en el informe hidrometeorológico:

Cobertura de nieve estimada a partir del producto MOD10A2 en la cuenca alta del río Colorado

Dada la importancia de conocer la distribución de la cobertura de nieve y su evolución espacio temporal en la cuenca alta del río Colorado, se utiliza un producto derivado de imágenes satelitales provistas por el sensor MODIS (MOD10A2) (Hall *et al.*, 2001) que permite estimar la cobertura de nieve desde el año 2000 en las subcuencas del Grande y del Barrancas (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, <http://reverb.echo.nasa.gov>). Los sensores MODIS a bordo de los satélites Aqua y Terra son prácticamente idénticos con una alta sensibilidad radiométrica (12 bits) en 36 bandas espectrales y un rango de longitud de onda que va de los 0,4 μm a los 14,4 μm (Qu *et al.*, 2006). Cuentan además con una buena calidad geométrica que permite el monitoreo preciso de las alteraciones de la superficie terrestre (error cuadrático medio inferior a 50 m) (Riggs y Hall, 2011; Mas, 2011), y una resolución temporal que permite observar cualquier parte de la Tierra diariamente (Seidel y Martinec, 2004). Se utilizó la banda 2 “Maximum_Snow_Extent”, la cual muestra la extensión máxima de la cubierta de nieve en un compuesto de 8 días, con una resolución espacial de 500 metros (Hall *et al.*, 2001; 2006). El valor de pixel indica de manera cualitativa la presencia o

ausencia de nieve, con los posibles valores 0 nada, 25 dudoso, 50 nube y 200 nieve. La presencia de nieve en un píxel es registrada cuando se detecta en al menos uno de los 8 días. Se trata, por lo tanto, de una aproximación que maximiza la presencia de nieve. A partir de esta información, se realizó la estimación de la superficie cubierta por nieve para cada una de las fechas con información disponible desde enero del año 2000. Luego se calculó la cobertura promedio, máxima, y mínima de cada mes y sus variaciones, lo que permitió analizar la dinámica temporal de cada año.

Por otro lado, para conocer la distribución espacial de la cobertura de nieve según rangos de altitud, pendiente y orientación se combinó el producto obtenido de cobertura de nieve y los derivados del modelo digital de elevación (Aumassanne *et al.*, 2019) Además, se presenta la situación actual de cobertura de nieve según su permanencia, Para ello se realiza un análisis para cada año donde se agrupan píxeles de acuerdo con el tiempo que estaban cubiertos por nieve (días con nieve), tal como es explicitado en Aumassanne *et al.*, 2019.

Caudal del río Colorado en la estación Buta Ranquil (Neuquén)

Se recopiló registros de caudal de la estación de aforo de Buta Ranquil, que constituye la primera estación de aforo del río Colorado, de la Base de Datos Hidrológica Integrada (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/>) a cargo de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación y del COIRCO (<http://www.coirco.gov.ar/>). Se realizó análisis estadístico descriptivo mediante Infostat a los caudales mensuales y anuales de cada estación, obteniendo los parámetros de máximo, mínimo y desvío estándar. Periódicamente se actualiza dicha la información.

Calidad de agua del río Colorado en 25 de Mayo (La Pampa) y caudal en estación Paso Alsina (Buenos Aires)

Se analizaron los registros de la serie histórica de datos de caudal medio mensual y conductividad eléctrica media mensual de dos estaciones de aforo de la cuenca del río Colorado. Una de ellas ubicada en cuenca media, denominada Punto Unido (37°43'20.64" S 67° 45'55.29" O) en la provincia de La Pampa y corresponde al ingreso del área bajo riego Sistema de Aprovechamiento Múltiple 25 de Mayo del Río Colorado en Colonia 25 de Mayo, y en la cuenca baja, Paso Alsina (39°22'0.71" S, 62°40'59.28" O), provincia de Buenos Aires, en los períodos de 1965-2015 y 1982-2015 respectivamente. Los datos de Punto Unido (PU) fueron extraídos del Estudio de Salinidad de las Aguas del río Colorado (Richter, 2010) y se completó la serie mediante registros de la AER de INTA 25 de Mayo (La Pampa). En Paso Alsina los datos fueron provistos por la Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del río Colorado (CORFO Río Colorado).

Los muestreos se desarrollan de acuerdo a los lineamientos generales propuestos por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2000). Los análisis se realizan en el Laboratorio de Suelo y Agua de la AER 25 de Mayo y en el Laboratorio de Suelos y Aguas de INTA Ascasubi en forma sistemática, tres veces por semana.

El registro de los datos de pH, CE y TSD presentados en este informe se realiza in situ con el equipo portátil multiparamétrico Water Quality Meter (Sper Scientific LTD mod. 850081), que cuenta con compensador de temperatura.

Desde el año 2013 la AER 25 de Mayo monitorea periódicamente la calidad del agua del río Colorado. Se cuenta con registros pH, CE, TSD, temperatura y cationes y aniones mayoritarios. Para más información de calidad de agua puede consultar: <https://inta.gob.ar/documentos/calidad-de-agua-del-rio-colorado>

Por otro lado, la EEA de Hilario Ascasubi junto a la Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (CORFO) monitorea periódicamente la calidad del agua del río Colorado y cuentan con una base de datos desde el año 2007. En este sentido, se cuenta con registros pH, CE, TSD, temperatura y cationes y aniones mayoritarios. Para más información de calidad de agua puede consultar: <https://inta.gob.ar/documentos/calidad-de-agua-del-campo-experimental-del-inta-hilario-ascasubi>

Pronósticos a corto, mediano y largo plazo para la cuenca del río Colorado

En este informe se presentan los pronósticos meteorológicos a corto, mediano y largo plazo sobre la cuenca y sus alrededores. Dichos pronósticos son elaborados por profesionales del Instituto de Clima y Agua- INTA Castelar y en los cuales se realiza una descripción sinóptica de las condiciones previstas para cada periodo, haciendo énfasis en las precipitaciones en forma de lluvias y las temperaturas. Además, se presentan los mapas de lluvia acumulada pronosticada, en milímetros, para los primeros 6 días a partir de la fecha de emisión del informe y lluvia acumulada en los 6 días siguientes. Cada mapa tiene asociado un mapa de anomalía de precipitaciones, esta variable muestra de manera comparativa como se espera que sean las lluvias pronosticadas con respecto a la climatología de la región. Finalmente, se presenta el pronóstico climático trimestral (pronóstico a largo plazo) de las lluvias y las temperaturas. Este pronóstico o tendencia climática corresponde a las condiciones medias previstas para el trimestre posterior a la fecha de emisión del informe. La información proviene de la reunión de consenso realizada por el Servicio Meteorológico Nacional en conjunto con otras instituciones, de la cual participa el INTA, y es actualizada mensualmente (<https://www.smn.gob.ar/pronostico-trimestral>). Este tipo de pronóstico brinda el contexto climático de ocurrencia más probable para el trimestre.

Medios de difusión del informe

El informe es enviado por correo electrónico y vía WhatsApp a todos los actores de la cuenca (productores, tomadores de decisión, técnicos), y luego es subido al repositorio digital institucional en el cual queda disponible para ser consultado y descargado. (<https://inta.gob.ar/documentos/informe-hidrometeorologico-de-la-cuenca-del-rio-colorado>)

Resultados

Se presentan a continuación ejemplos de la información con gráficos y figuras que contiene el Informe hidrometeorológico de la cuenca del río Colorado.

En la Figura 2 (izquierda), se muestra la evolución de la cobertura de nieve cada 8 días estimada a partir de MOD10A2 para la cuenca alta del río Colorado para los últimos tres años, y el promedio de cada fecha desde el año 2000 al año 2021. En el caso de la Figura 2 (derecha), se presenta la superficie cubierta por nieve en la última fecha de análisis de cada informe, por ejemplo, para las fechas desde el 9 al 16 de noviembre desde el año 2000 a 2021 para la cuenca alta del río Colorado y cobertura promedio para el mismo período (línea punteada).

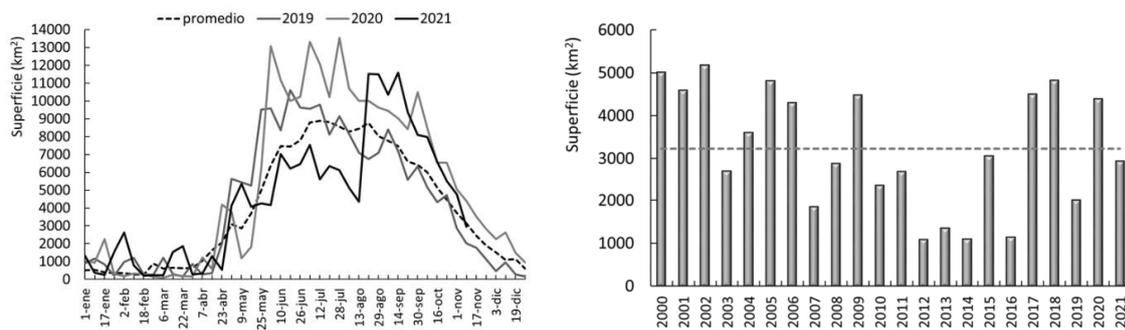


Figura 2. Ejemplo de evolución de la cobertura de nieve, correspondiente al Boletín N° 5 noviembre de 2021.

En el informe también se presenta la cobertura de nieve estimada en la última fecha analizada para cada informe, en este caso para el período 9 al 16 de noviembre de 2021 y máximo de la serie histórica para la misma fecha (año 2002) y mínimo de la serie histórica para la misma fecha (año 2012). Además, se detalla la cobertura de nieve obtenida a partir de MOD10A2 para las subcuencas del río Barrancas y Grande en relación con la altura (m.s.n.m.) como puede observarse en la Figura 3, para el período del 14 al 21 de septiembre.

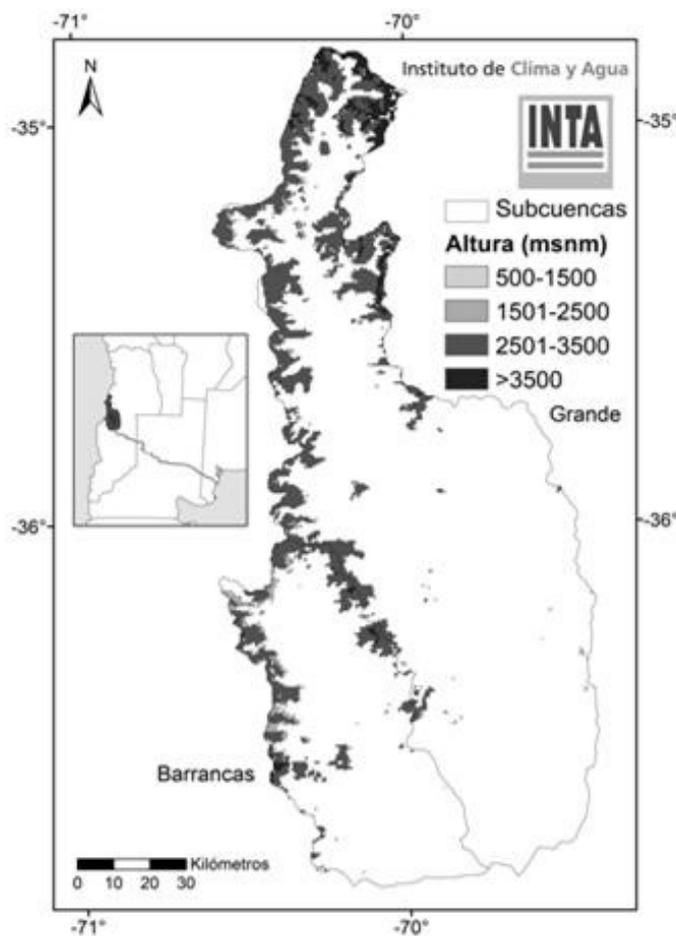


Figura 3. Ejemplo de la cobertura de nieve subcuencas del río Barrancas y Grande en relación con la altura (m.s.n.m.). Corresponde al Boletín N° 5 noviembre de 2021.

Por otra parte, se analiza y se presenta el caudal medio mensual del río Colorado en la estación Buta Ranquil de los últimos 3 años y el año en curso, además del máximo y mínimo histórico mensual (1940-2020), a partir de datos de COIRCO (www.coirco.gob.ar) como puede observarse en la Figura 4. Lo mismo se presenta para la estación Paso Alsina (1982-2013), mínimo histórico mensual y valores presentados de 2018 a la actualidad, utilizando la fuente de información de CORFO Río Colorado.

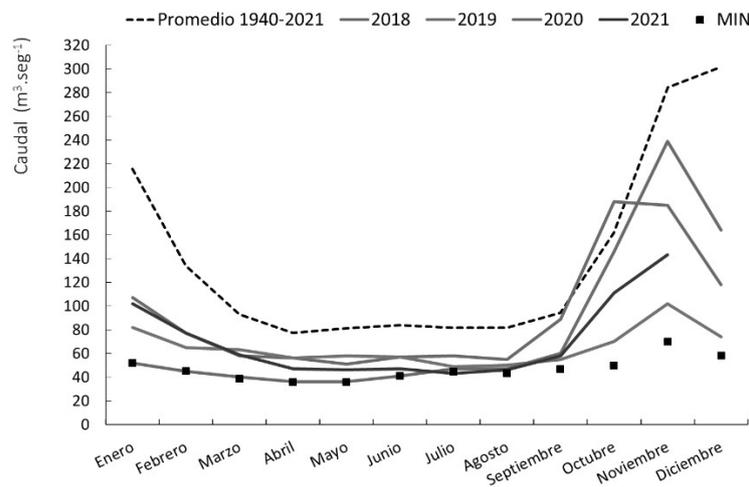


Figura 4. Ejemplo del caudal medio y mínimo mensual del río Colorado en la estación Buta Ranquil
Corresponde al Boletín N° 5 Noviembre de 2021

En la sección de calidad de agua se presentan gráficos de CE expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de TSD expresados en mg/L , tanto para Punto Unido (25 de Mayo) como para Paso Alsina (Hilario Ascasubi). En los gráficos se expresan en barras los promedios mensuales de los últimos 4 años y se muestra en línea punteada el promedio histórico. Este tipo de representación permite visibilizar como es la variación del parámetro en el último tiempo y compararlo con el comportamiento histórico (más de 40 años de registros) (Figura 5).

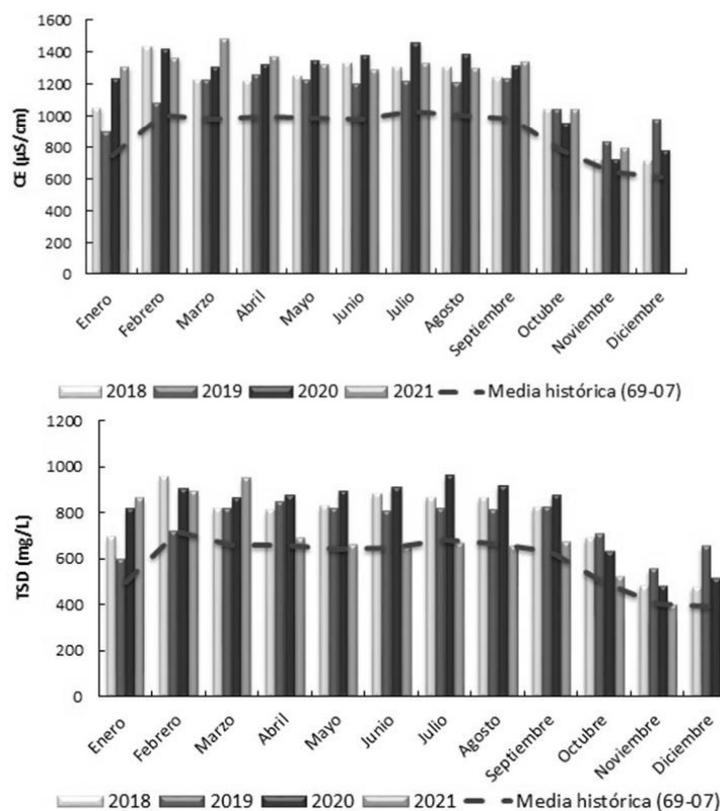


Figura 5. Ejemplo de Conductividad eléctrica (CE) expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$, estación Punto Unido. (2018, 2019, 2020 y 2021 y media histórica) y Total de sólidos disueltos (TSD) expresado en mg/l , estación Punto Unido. Corresponde al Boletín N° 5 Noviembre de 2021.

Por último, en la sección de pronósticos se muestra el pronóstico a corto y mediano plazo de precipitación y temperatura. En el caso de la precipitación, se entiende por anomalía al porcentaje entre el valor de lluvia pronosticado y el valor promedio histórico (1961-2010) de dicho periodo de pronóstico, como puede observarse en la Figura 6 para la semana entre el 26/11 y el 06/12/2021. En esta sección también se comparte información del pronóstico climático trimestral que es elaborado en el Foro Interinstitucional reunido por el Servicio Meteorológico Nacional.

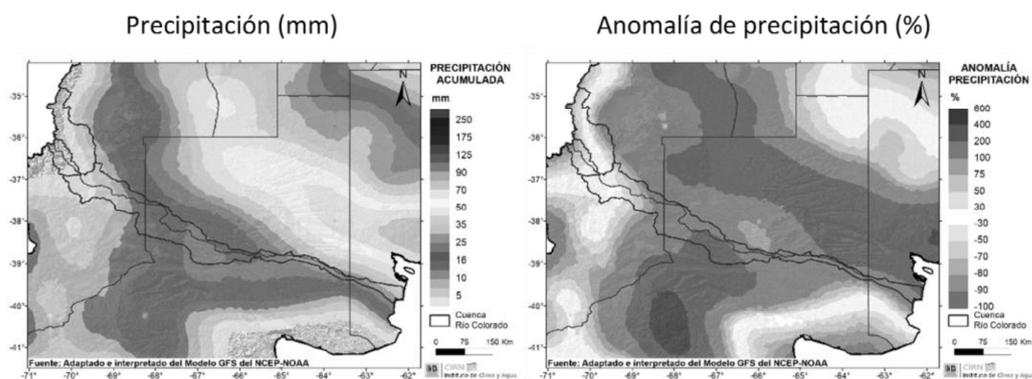


Figura 6. Ejemplo de pronóstico de lluvias Corresponde al Boletín N° 5 Noviembre de 2021.

Conclusiones

En cuencas de grandes extensiones, como la cuenca del río Colorado, donde existe además escasa accesibilidad para la toma de datos sobre todo a fines del invierno

y en primavera, la información derivada de sensores remotos es de suma importancia para el seguimiento espacial y temporal de la cobertura de nieve. La información provista por el sensor MODIS es una buena herramienta para caracterizar la cobertura de nieve, ya que su resolución temporal ayuda a tener una cartografía actualizada, a partir de un modelo sencillo, práctico y en tiempo real. Si bien no tiene en cuenta el espesor de nieve y densidad, cuantifica la cobertura y está asociada al derrame anual del río, sirviendo de base para la planificación y manejo integral del recurso hídrico.

Contar de información anticipada sobre las condiciones meteorológicas previstas para un determinado periodo es un insumo de importancia para la toma de decisiones y planificación de las actividades productivas. Si bien la nieve es la principal componente del caudal en río Colorado, las lluvias son un aporte necesario de igual manera, tanto para el caudal como para las producciones de la región. Disponer de registros continuos de parámetros de calidad del agua de riego en la cuenca media del río Colorado es sumamente importante ya que constituye la mayor área de agricultura bajo riego en la provincia de La Pampa y plantea la posibilidad de un análisis retrospectivo de la información recopilada que permite visualizar la evolución de la calidad del agua en tiempo y espacio. Mediante la complementación de información hidrológica y meteorológica se plantean pronósticos de derrame y tendencias sobre cobertura de nieve en la cuenca alta del río Colorado, además de los pronósticos a corto y mediano plazo con énfasis en las áreas bajo riego.

En síntesis, en este contexto de cambio global y variabilidad climática y con una demanda creciente de agua, el informe hidrometeorológico aquí presentado es un instrumento para la toma de decisión para los actores de la cuenca con información actualizada de las principales componentes del balance de agua del río Colorado.

Bibliografía

Aumassanne, C. M., Beget, M. E., Gaspari, F. J., Di Bella, C. M., Oricchio, P. y Sartor, P. D. 2018. "Morfometría de la cuenca alta del río Colorado: descripción a partir de un modelo digital de elevación". Boletín Geográfico Universidad Nacional del Comahue. Departamento Geografía 40 (1): 13- 29.

APHA, AWWA y WPCF. 1985. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16 Ed. Washington, EUA.

Ayers, R.S. y Westcot, D. W. 1985. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 p.

COIRCO (Comité Interjurisdiccional del Río Colorado). 2015. Perl, J. E., Andrés, F. O. Presentación: Manejo Integral de la cuenca del río Colorado. Oferta y demanda hídrica en períodos de sequía. En: Jornada de Actualización "Cuenca del río Colorado: Situación Actual, Proyectos en Ejecución, Planificación". Villa Casa de Piedra, La Pampa. Disponible en: www.coirco.com.ar

FAO. 1976. *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage Paper N°29, Rome.

Hall, D. K., Riggs, G. A. y Salomonson, V. V. 2001. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms. Disponible en: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod10.pdf

Hall, D. K., Riggs G. A. y Salomonson, V. V. 2006. MODIS/Terra Snow Cover 5-Min L2 Swath 500m. Version 5. Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. <http://sci-hub.tw/10.5067/ACytyzB9BEOS>

Masseroni, M. L., Aumassanne, C. M., Sartor, P. D., Zamora, C. D. y Fontanella, D. R. 2018. "Calidad de agua para riego: situación histórica y actual del río Colorado". Boletín geográfico, 40 (2), 63-72.

Qu, J. J., Gao, W., Kafatos, M., Murphy, R. E. y Salomonson, V. V. 2006. *Earth Science Satellite Remote Sensing*. Vol. 2: Data, Computational Processing and Tools. Beijing: Tsinghua University Press/Berlin, Heidelberg. Springer.

Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agricultural Handbook 60, 160 p.

Richter, A. H. 2010. *Informe Técnico "Estudio de Salinidad de las Aguas del río Colorado". Punto Unido. Provincia de La Pampa, 1965-2009*. Congreso Pampeano del Agua. Santa Rosa, La Pampa.

Riggs, G. y Hall, D. 2011. *MODIS Snow Cover Algorithms and Products- Improvements for Collection 6*: 163-171 p.

