

DÓNDE Y CÓMO SE MIDE LA NIEVE EN LOS ANDES

(publicado en *Contribuciones Científicas GÆA* 19, 267-279 (2007))

LASCANO, Marcelo E.

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, IANIGLA CONICET
Departamento de Ccs de la Atmósfera – UBA
mlascano@lab.cricyt.edu.ar, mejascano@yahoo.de

RESUMEN

Se realiza un breve análisis de la red histórica de pluviométricos, de los cateos de Agua y Energía y de los colchones de nieve de diversas instituciones (Hidronor, SRH de la Nación, DGI de Mendoza). Se describen los rasgos básicos de cada tipo de instrumento. Si bien actualmente se cuenta con instrumental de última generación, la densidad de puntos de medición es baja en cordillera central. En este sector otro problema es la ubicación baja de los puntos de medición. En la cuenca activa del río alto Neuquén mediciones son también escasas, pero tienen mejor ubicación en relación a la distribución altimétrica. La cuenca activa del Limay es la que cuenta con mayor cantidad de puntos de monitoreo, sin embargo el rol hidrológico de la nieve es secundario. Para finalizar se hace una evaluación breve de la adaptación de los monitoreos actuales a los requerimientos informativos de los distintos usos del agua.

Palabras clave : Cordillera de los Andes – Argentina – nieve – pronósticos estacionales de escurrimiento

WHERE AND HOW IS SNOW MEASURED IN THE ANDES

ABSTRACT

A brief analysis of all historical and current snow measurement networks in the Andes of Argentina is presented. The main features all instruments are described. Even though currently the most advanced equipment is being used, the density of measurement points is low in the central Andes. Also for this sector another problem is the relative low location of measurement points. In the active basin of Alto Neuquén river measurements are also scarce, but they are better located in terms of the altitudinal distribution. Limay river basin has the most measurement points. However the hydrological role of snow in this basin is secondary. Finally a brief assessment on the current snow monitoring situation and its utility for water uses is outlined.

Keywords :

Introducción

El problema de compatibilizar los regímenes fluviales (Bruniard, 1994) y variaciones estacionales de los usos del agua es solucionado con la operación de embalses. En el Oeste y el Suroeste del país el Estado Federal (Nacional) ha realizado a lo largo del siglo XX grandes inversiones para equipar el sistema territorial con este tipo de infraestructuras (Argentina, AyEE, 1987; Argentina, Hidronor, 1971-1992). Un embalse regula la intensidad y la estacionalidad de los caudales entrantes. Luego los volúmenes almacenados son restituídos según los diferentes escalonamientos temporales de las necesidades hídricas asociadas a cada embalse. Ambos insumos de planeamiento de la gestión hídrica, caudales entrantes y usos del agua, se asocian a caracteres territoriales. El almacenamiento nival se da según la macromorfología y la distribución altimétrica de una cuenca (Hantel *et al*, 2000; Mote, 2003; Sloan *et al*, 2004). La utilización del agua se proyecta hacia cada área de riego asociada, incluyendo sus ciudades de cabecera, y hacia la escala nacional con la integración de la oferta eléctrica en el mercado mayorista. El objetivo de este trabajo tiene que ver con los caudales entrantes naturales. El monitoreo del almacenamiento nival permite estimar con algunos meses de anticipación el volumen de agua disponible y, mediante modelos hidrológicos, la distribución temporal a grandes rasgos de los caudales entrantes durante la primavera y/o el verano. En una primera etapa comenzaron a realizarse pronósticos para los ríos del Oeste

(Mendoza, Atuel, etc) a partir de los caudales invernales de los ríos chilenos a igual latitud. A partir de la década de 1940 comenzaron las mediciones de nieve en la Cordillera para obtener resultados más ajustados. Desde entonces se ha generado una cierta cantidad de información sobre distribución y variabilidad. Los relevamientos han variado en cantidad y calidad desde entonces. También ha cambiado el instrumental. Aquí intentaremos hacer una revisión breve del desarrollo de los estudios nivológicos, así como plasmar los resultados del relevamiento de puntos de registro nivológico llevado a cabo entre 2004 y 2005 por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ccs Ambientales, dependiente del CONICET. Y por último se señalarán los aportes y limitaciones de cada tipo de medición, a partir del tratamiento realizado en el IANIGLA y de las experiencias reflejadas en publicaciones de recursos hídricos.

Tipos de instrumento

De la nieve se pueden medir, el peso y el espesor, pero el parámetro que verdaderamente importa es el equivalente de agua en nieve (EAN), expresado en mm (litro/m²). El EAN se ha medido sucesivamente con nivómetros totalizadores (Argentina, 1945), *in situ* con cateos (AyEE, 1958; Vallejos, 1969; Ruscio, comunicación personal), y últimamente se ha difundido el Colchón de Nieve, (snow pillow en inglés), instalado en varios sitios (Argentina, 1994; Abeyá, 2005a, 2005b; Menajovsky, 2005). Recientemente en San Juan se han instalado instrumentos que miden la altura de la nieve (Ruscio, comunicación personal).

En zonas de montaña la medición de la precipitación, líquida o sólida, enfrenta el problema del viento. El movimiento del aire alcanza mayor velocidad por un lado al interactuar con la circulación general a niveles por sobre la atmósfera libre, es decir por sobre los 1000 metros superficiales de la tropósfera sujetos a la fricción generada por las superficies emergidas. Por otro lado el viento en la montaña se encajona. La concurrencia de estos dos factores genera velocidades del aire que en zonas llanas correspondería a vientos asociados a tornados. Capitanelli (1967) describe de manera muy viva el ambiente invernal cordillerano que envuelve a la cordillera durante las tormentas. Bajo tales condiciones, los pluviómetros y los totalizadores captan sólo una parte del total precipitado. Los datos obtenidos con cateos y sobre todo con colchones de nieve fueron la prueba definitiva de este problema, que se sospechaba mucho antes : la sumatoria de incrementos de EAN siempre suma un milimetraje mayor al acumulado en totalizadores. Serreze et al. (1999) analizan este problema en el Oeste de los EEUU. En la Argentina las mediciones realizadas en el Comahue arrojan iguales resultados (Porrino, AIC, comunicación personal). En montañas frías el problema puede alcanzar extremos tales como la formación de una lente de hielo en las aberturas de los instrumentos (Capitanelli, 1967 y comunicación personal). En el caso de la precipitación sólida el viento puede también expulsar acumulados de nieve de dentro de un totalizador.

Una vez tenido en cuenta este problema puede comenzar el trabajo con datos de pluviómetros y/o totalizadores. El problema en los Andes centrales es la falta de datos de viento para realizar correcciones de las series disponibles (DMGH, ver abajo). Se podrían aplicar los de Cristo Redentor (1934-84), pero debería testearse la consistencia de la extrapolación. Los totalizadores de la AIC en cada caso forman parte de un puesto completo de observación que incluye la obtención de la velocidad del viento. Igualmente consideramos que los métodos de corrección (Sevruk 1982, 1997) obtenidos en el hemisferio norte deberían ser testeados. Es

probable que la intensidad de los Oestes de lugar a situaciones que no se verifican a igual latitud al norte del ecuador.

La red histórica de nivómetros y pluvionivómetros totalizadores de la DMGH

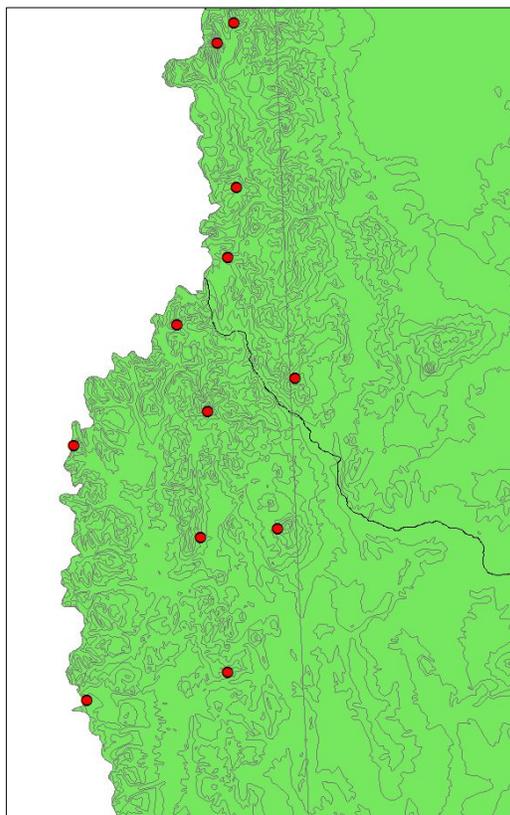


Fig. 1 : algunos pluvionivómetros de la DMGH.

Puede considerarse que las primeras mediciones de nieve se realizan con la puesta en funcionamiento de la estación meteorológica Cristo Redentor, a partir de 1934 (Argentina, 1974). Pero el grueso de la recolección de datos comenzó durante los inviernos de 1941 y el de 1942, con la instalación de recipientes que capturan la precipitación líquida o sólida, denominados totalizadores, en las cuencas del Tunuyán (pluvionivómetros totalizadores) y el Mendoza (nivómetros totalizadores). Estos instrumentos fueron colocados por la Dirección de Meteorología, Geofísica e Hidrología (DMGH) del entonces Ministerio de Agricultura. Por la altura de los sitios elegidos y por la estacionalidad de la precipitación puede considerarse que para cordillera central (28°-35°) los milimetrajés que obtuvieron estos instrumentos expresan acumulados de nieve. Esta red se expandió luego hacia las cuencas del San Juan (Patos Superior, Blanco y Castaño), del Jáchal, y las del Diamante, Atuel y Colorado superior (Grande). Esta red fue un subgrupo de una red cordillerana mayor que incluía pluvionivómetros totalizadores instalados en 1939 en las nacientes del Neuquén y del Limay. En este segmento de los Andes el dato medido tiene otro significado, sobre todo para las

nacientes del Limay, donde las tormentas traen precipitación líquida, y donde los mantos nivales acumulados durante episodios de precipitación sólida pueden derretirse pocas horas o días después, así como ser lavados por un episodio de lluvia (por ejemplo, durante la gran crecida de octubre de 2002). Las estaciones que formaron parte de esta red figuran en Argentina, 1962. Cada punto de medición era visitado una vez al año en marzo. Es decir que los datos de esta red en Cordillera central son mediciones indirectas de la precipitación nival y del almacenamiento invierno-verano, ya que, en forma excepcional, pudieron sumar precipitación durante alguna tormenta estival (por ejemplo en enero de 2005 y en febrero de 2007 se produjeron nevadas con acumulación). El nivómetro totalizador contenía diferentes líquidos para evitar el congelamiento y la evaporación, que se renovaban durante cada visita, es decir que los técnicos hacían toda la travesía a través de la montaña cargados con el volumen para reponerlos. El agua ingresada entre una visita y otra aumentaba el peso del contenido total, y por diferencia con el peso cargado un año antes se obtenía el milimetraje captado. Los pluvionivómetros se operaban de la misma manera. Este procedimiento está descrito en las planillas de registro y en las memorias de cada puesto, disponibles en el Departamento de Hidrometeorología del SMN, que cediera gentilmente los datos al DCAO-

FCEN-UBA a cambio de su digitalización. En estos documentos valiosísimos quedaron apuntadas las oportunidades en que los recipientes fueron encontrados rotos, caídos e incluso con agujeros de bala (sic). Por algún motivo que desconocemos luego de marzo de 1975, último recambio, se discontinuó la operación de esta red. Los datos fueron medidos durante más de 25 años en la mayoría de los casos. Se interrumpieron las observaciones entre 1961 y 1968 y 1964 y 68 en algunos casos.

Utilidad de los pluviómetros de la DMGH

Los datos muestran coherencia espacial, por ejemplo reflejan bien las precipitaciones excepcionales de 1972. Por otro lado reflejan los acumulados de Cordillera central en rangos altimétricos donde no se realizaron otras mediciones. Por el lado de las limitaciones hay que mencionar un problema que no era particular de esta red o de los Andes centrales, sino que es intrínseco a la medición de la precipitación. Todos los pluviómetros captan la mayor parte pero no toda la precipitación (Sevruk, 1982, 1997). En zonas de montaña este problema se intensifica con el incremento de la velocidad y el encajonamiento del viento (la precipitación puede ser horizontal). Por ejemplo, en Cristo Redentor nunca pudo medirse adecuadamente (ver Capitanelli, 1967). A fines de la década de 1940 se adoptó en los EEUU, y luego en el resto del mundo, un protector (Alter wind shield) para reducir estas pérdidas. También se idearon dispositivos específicos para evitar la voladura de nieve desde dentro de los recipientes. A pesar de todos los esfuerzos se observó, a partir de los valores medidos en cateos y mediante colchón de nieve, es decir en ámbitos nivales, que los milimetrajes acumulados en recipientes son siempre inferiores (ver Serreze *et al*; Ing. Porrino-AIC, comunicación personal). Este problema impide considerar los milimetrajes medidos por la red de la DMGH y, por ejemplo, registros de temperatura con la misma seguridad. Pero esto no inutiliza la información, ya que sí puede trabajarse a partir de las diferencias porcentuales entre estaciones de diferente ubicación (espacialidad del campo pluviométrico) y a partir de las diferencias de año en año para una misma estación a grupos de estaciones (variabilidad interanual). Un buen trabajo que incluye estos datos fue el realizado por Minetti y su equipo (Minetti *et al*, 1986), construyendo el primer mapa de precipitación anual en los Andes entre los paralelos 28° y 33° 30'. En este caso los datos se trataron de manera rigurosa y se verificó su relación y coherencia con la topografía a partir del concepto de “validación fisiográfica”, expresado en funciones altura - precipitación. En 1976 se cierra Puente del Inca, y en 1984 Cristo Redentor. Ante la actual escasez de datos en los Andes centrales, la necesaria densificación de puestos de observación, automáticos o con personal, tiene la excelente oportunidad de aprovechar las series correspondientes a esta red de la ex – DMGH.

Puntos de cateo : la gran labor de Agua y Energía Eléctrica SE.

El 14 de febrero de 1947 se funda Agua y Energía Eléctrica S.E. (AyE), empresa que fue puntal del desarrollo del país. Uno de los primeros estudios hidrológicos en cordillera central, y por lo tanto centrado en la nieve, fue realizado en 1938 por el Ing. Dagoberto Sardina, luego de varios relevamientos en campo (citado por Soldano, 1947). Sardina fue luego fundador de la dirección de Nivología de AyE, a fines de los '40. En este momento es contratado James E. Church, estadounidense inventor del cateador “Mount Rose” (un cilindro de metal hueco), aplicado primero a cuencas nivales en las Rocallosas, al norte del continente (ver el texto de

Cullen Murphy “In Praise of snow”, en http://snobear.colorado.edu/Markw/SnowHydro/intro.html#at_mon, que relata de manera muy amena la historia de los estudios nivológicos en los EEUU). Así comienzan los cateos de nieve en el país. Un mayor panorama sobre la historia de los estudios nivológicos en el país puede encontrarse en el capítulo “Estudios Nivológicos” del anuario 49-52 de AyE, y en las actas y discusiones correspondientes a las Primeras Jornadas Nivoglaciológicas, llevadas a cabo en la ciudad de Mendoza en 1969 (Argentina, 1969).

A diferencia de los pluviómetros históricos de la DGMH, los cateos estaban destinados a la planificación operativa del servicio público de electricidad. Las precipitaciones finalizan en septiembre y la fusión comienza a fines de noviembre. La culminación de las altas aguas ocurre durante enero. De esta forma hay un desfase desde el momento medio en que finaliza la conformación del manto nival y el pulso estacional de caudal, lo cual permite el planeamiento anticipado. Los cateos se realizan en relación con la estacionalidad de precipitación en los Andes. Se comienza por la cuenca del San Juan, generalmente a fines de agosto, y se finaliza en la cuenca del Neuquén a fines de septiembre (Argentina SRH, 2005). El dato recogido mediante cateo se utiliza para estimar el volumen de agua almacenado como nieve a escala de la cuenca, que luego durante la estación de fusión se incorpora al escurrimiento. Este cálculo es resultado de diferentes intentos realizados con valores de cateo en diferentes puntos de cada cuenca. Esta tarea fue realizada durante la década del '50 por AyE. Como señalan Menajovsky et al (2005) a diferencia de lo que sucede en la actualidad, esta tarea se realizó sin helicópteros, sin GPS y sin telefonía satelital.

Al comienzo de los estudios realizados por AyE se realizaron durante varios años cateos en una cantidad de sitios, de entre los cuales se eligieron los que mostraban buena correlación con el derrame de verano. Por este motivo en algunos lugares se hicieron cateos durante sólo 2 ó 3 años. Es interesante tener en cuenta que por entonces no se contaba con imágenes satelitales, y por lo tanto se desconocía la extensión del manto nival. Desde este punto de vista puede destacarse la pericia de campo de los técnicos de AyE. Este fue un problema de posición a escala de cuenca en el desarrollo de una red de observaciones. Un segundo problema a resolver tiene que ver con las condiciones de sitio. Un cateo debe realizarse sobre una superficie plana, más o menos extensa, por dos razones : en primer lugar para tomar muestras donde el desplazamiento lateral de la nieve sea mínimo (desplazamiento plástico del espesor en conjunto), y en segundo lugar para medir el EAN varias veces en un mismo predio y obtener un promedio representativo del sitio, sin sesgos que podríamos denominar “de microescala” (parcelas de aire dentro del espesor de nieve, por ejemplo). Obviamente que este tipo de “pampitas” son muy escasas en los Andes, sobre todo en los Centrales donde las pendientes son tan pronunciadas. Este requerimiento de los cateos restringió la ubicación de los puntos de cateo a los rangos altitudinales más bajos de cada cuenca activa, de forma que se logró obtener información representativa de las fluctuaciones de la precipitación invernal. Pero como quedara consignado en el anuario 49-52 de AyE, la medición de la nieve en niveles superiores resultaba imposible con la movilidad disponible entonces. A lo largo del capítulo de nivología queda reflejada varias veces la preocupación por extender las observaciones aguas arriba de los cateos establecidos. Un segundo capítulo a ser desarrollado corresponde entonces a la medición de la acumulación nival (así como de la temperatura) en sitios más altos, por ejemplo por sobre los 4000 metros de altura. Para concretarlo deberá solucionarse las limitaciones del instrumental ya homologado, o bien se podría comenzar a evaluar la eficacia de dispositivos no homologados pero que estén adaptados para las duras condiciones de los Andes centrales (Ruscio, comunicación personal). Un estudio solicitado por un operador de presas fue realizado con un dispositivo *ad-hoc* que permitió obtener un

relevamiento homogéneo del famoso, pero poco estudiado, gradiente Oeste-este de la precipitación en la vertiente Este de los Andes.

Hoy en día la SRH, el DGI mendocino y la AIC realizan cateos, que en general tienen como fin controlar la efectividad de los colchones de nieve, excepto en Teatinos y Laguna Varvarco (de la SRH) donde sólo se cuenta con el valor de cateo. Los cateos tradicionales constaban de entre 10 y 30 muestras en cada sitio. El DGI de Mendoza actualmente toma muestras en septiembre ingresando por helicóptero. Un próximo paso podría ser reunir los resultados de los cateos y los EANs indirectos y sistematizar la comparación como lo han hecho recientemente Dressler *et al* (2006) para la cuenca del río Colorado de los EEUU.

Colchones de nieve : cateos diarios vía satélite

Los colchones de nieve comenzaron a utilizarse en los EEUU a comienzos de los '60 (Serreze et al, 1999). Se trata de un sensor compuesto por 2, 4 ó 6 recipientes planos, a la forma de un raviol delgado, de 1 metro por lado, que contienen un líquido. En la fig 3 puede verse el llenado del colchón de nieve en Pampa de Chacaico, en la cuenca superior del Neuquén. Al depositarse la nieve sobre estos sensores el peso presiona el líquido fuera del sensor, hacia un dispositivo vertical que contiene un sensor. El nivel del líquido es proporcional al peso de la nieve sobre el colchón. Esta proporción se calibra al poner el colchón de nieve en funcionamiento. Obviamente se basa en el peso específico del agua, $1\text{cm}^3 = 1\text{gr}$. El dato de EAN obtenido es entonces medido indirectamente. La información es almacenada *in situ* en un dispositivo de memoria denominado *datalogger*, componente clásico de las estaciones meteorológicas automáticas. Una descripción integral del funcionamiento de un colchón de nieve, así como detalles de la red de cada organismo operador, puede encontrarse en Menajovski *et al*, (2005).

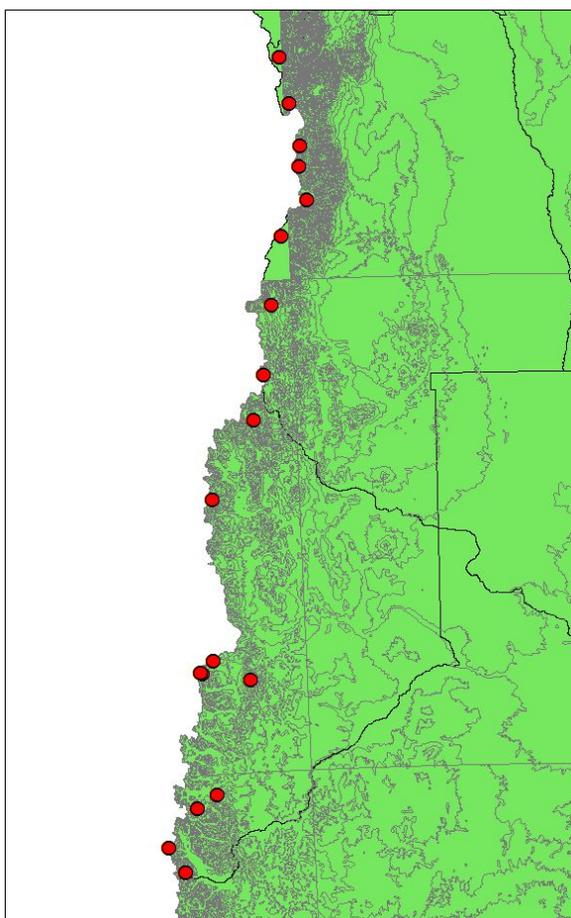


Fig. 2 : colchones de nieve en funcionamiento en la Argentina

La utilización de más de 1 colchón en cada lugar de observación tiene por objeto replicar el esquema de los cateos : a partir de varias mediciones en un mismo lugar, es decir, sujeto a la misma sucesión de condiciones meteorológicas, obtener un valor que no esté sesgado. En este punto debe reconocerse que los EAN obtenidos a partir de cateos resultan de más de 4 ó 6 muestras (entre 10 y 30 en los primeros años de AyE, (ver Argentina, 1958), por lo que el riesgo de un sesgo a escala micro queda reducido al mínimo. Como puede deducirse, el colchón de nieve funciona como un cateo permanente. El dato

estimado de EAN se transmite diariamente (SRH, DGI) o en tiempo real (AIC) vía satélite, desde el puesto de observación hacia la sede del organismo de cuenca correspondiente, es el caso de la AIC (ex Hidronor) y el DGI de Mendoza. El DGI de Mendoza utiliza datos horarios de EAN en caso de que el dato diario sea dudoso. Los colchones de la SRH reportan sus datos a la sede operativa regional (Cipolletti) de la empresa privada que gestiona la red hidrometeorológica nacional. Una vez por semana la SRH recibe los datos de EAN. El comité de cuenca del río Colorado no cuenta con mediciones propias de ningún tipo, y monitorea el manto nival de la cca activa utilizando los EAN de Valle Hermoso del DGI, Valle Hermoso SRH y Pehuenche de la SRH. Durante el invierno y primavera los datos de estos tres puestos se publican y se actualizan semanalmente en el sitio de del COIRCO (www.coirco.com.ar). El DGI de Mendoza también publica on line los valores de su red, todos los días (www.irigacion.gov.ar ► información ► evaluación hídrica)

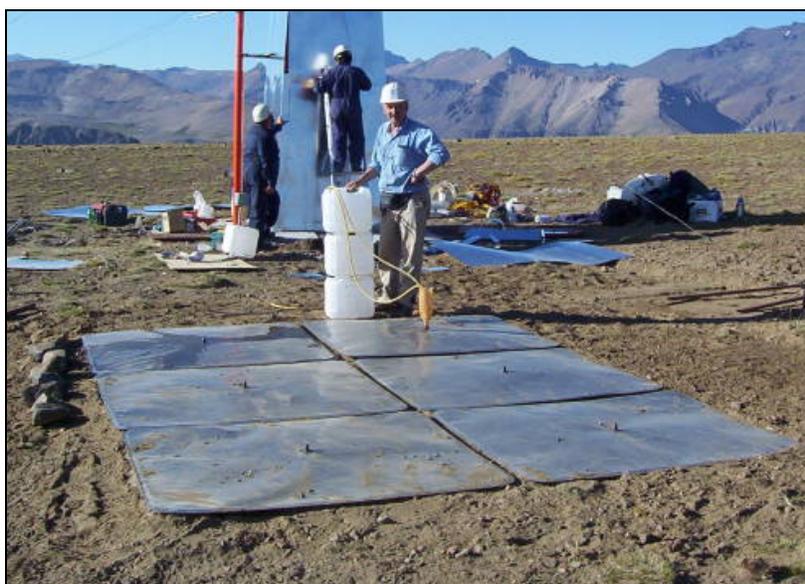


Fig. 3 : Mantenimiento durante el verano del colchón de nieve de seis paneles instalado en la pampa de Chacaico, cuenca del Alto Neuquén. Cortesía de la AIC.

El primer colchón de nieve se colocó en Valle Hermoso, puesto meteorológico y punto de cateo que funcionó hasta 1979 gestionado en forma conjunta entre AyE y el DGI provincial (Abeyá *et al*, 2005a) con instrumental provisto por el SMN (Abeyá, comunicación personal). Esta colaboración de tres instituciones logró una cantidad de datos hidroclimáticos conjuntos de gran valor. Las series más largas de EAN de colchones de nieve corresponden a las cuencas del Comahue. Fue lógico que la tecnología más costosa se adoptara primero para pronosticar los caudales entrantes a las presas de mayor potencia instalada del país. Los primeros colchones fueron instalados definitivamente en 1982, por primera vez integrados a la teletransmisión de los datos a la sede operativa. A partir de 1989 Agua y Energía coloca colchones de nieve en las cuencas del Oeste, grupo que hoy pertenece a la SRH. En 1998 el departamento de irrigación de Mendoza (DGI) comienza a realizar ensayos con colchones (Abeyá *et al*, 2005a, 2005b), y a partir de 2000 comienzan las mediciones sistemáticas. Esta red incluye la cuenca del Tunuyán, que antes no estaba cubierta por la red de AyE-SRH. Pero el DGI de Mendoza también agregó sensores en los mismos sitios elegidos por AyE para las cuencas del Tupungato y Diamante. En el caso del Atuel si bien no se trata del exacto mismo lugar, desde el punto de vista del pronóstico el presupuesto que destina el DGI podría tener un

mejor rendimiento colocando su sensor en otro sitio para aumentar la precisión del pronóstico anual. El tema de la superposición parcial de la red del DGI es importante tomando en cuenta que en la boleta que reciben los regantes se ha agregado un cargo por los colchones de nieve, cuando éstos pagan impuestos nacionales y cuentan con la información de AyE/SRH. Por otro lado debe destacarse que en los puestos de la red del DGI de Mendoza se mide además la temperatura, la humedad relativa, la presión, velocidad y dirección del viento, radiación y temperatura del suelo. Esto significa la vuelta al monitoreo integral de la climatología de montaña del Oeste del país, tan necesario para los estudios hidrológicos. La SRH debería seguir el mismo camino.

A partir de 2005 estaba previsto el inicio del nuevo contrato del operador de la red hidrometeorológica de la SRH, cosa que a abril de 2007 no ha sucedido. En este nuevo contrato se preveía instalar colchones de nieve en algunos otros sitios : en la cuenca del Jáchal y en la del Senguerr. Con anterioridad a la discontinuación de AyE se había pensado asimismo instalar colchones en las nacientes del Futaleufú, pero la operadora de la presa indicó que no utilizaría esos datos. Esto resulta acertado, teniendo en cuenta la poca importancia que la acumulación estacional tiene en esta cuenca.

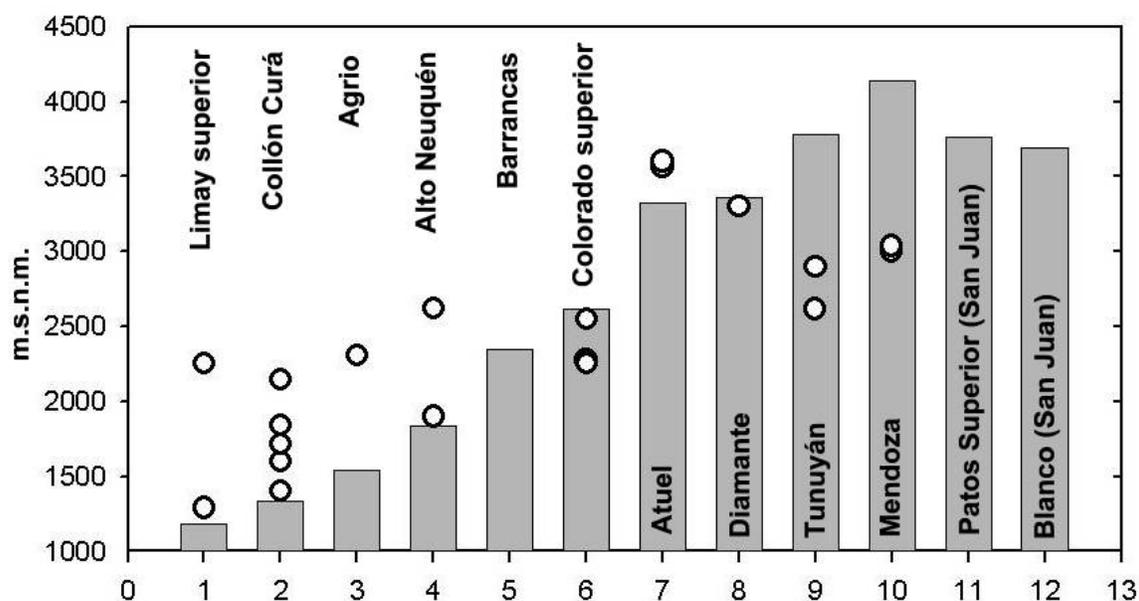


Fig. 4 : alturas medias de cuenca activa y cotas de colchones de nieve en funcionamiento.

Los colchones se colocaron en los sitios de cateo que daban la mejor correlación en cada cuenca, Toscas, Laguna del Diamante, Laguna del Atuel, Valle Hermoso, Pehuénche. No se instaló un colchón en el sitio de Teatinos (cca del Patos superior), cateo de referencia para el pronóstico del caudal del río San Juan (Patos Superior). Esto podría tener que ver con un desempeño poco satisfactorio, ya que allí AyE operó un colchón en la década del '70 (Vallejos, 1973; Menajovsky et al, 2005). La ventaja del colchón de nieve es la posibilidad de seguir en tiempo real la evolución del manto nival, tanto la acumulación como la fusión. También permite elegir mejor el momento para realiza cateos (Abeyá, comunicación personal). El significado de los EAN obtenidos con colchón de nieve puede tener distintos significados. Puede hacerse un repaso de norte a sur. En las cuencas de cordillera central (31-36°) la totalidad de la precipitación ocurre en forma de nieve, incluso en verano (Lliboutry,

1957, 1999; Ruscio, 2006). En la cuenca del alto Neuquén ya debe tenerse en cuenta que las tormentas alcanzan rangos altimétricos donde la temperatura está por sobre los cero grados, o donde lo estará a las pocas horas o días. A diferencia de lo que muestra el colchón en “Pampa de Chacaico”, a 2620 metros de altura, el colchón instalado en “Buta Mallín”, a 1900, ha registrado episodios de fusión en pleno invierno. Más hacia el sur, en las cuencas del Collón curá y del Limay superior, por la reducida altitud sólo se produce acumulación de nieve en el reducido porcentaje de la superficie que supera los +-1600 metros de altura. Es decir, desde el punto de vista espacial el dato tiene un solo un significado puntual. En estos dos ejemplos la nieve no juega ningún rol hidrológico significativo : no ejerce una regulación destacable sobre los picos de crecida ni constituye un aporte sustantivo de caudal durante la primavera. Pero desde el punto de vista paisajístico tiene un rol central : en esta parte de la cordillera está el cerro Catedral, el principal centro de Ski de Sudamérica. No abordaremos aquí los parámetros de la nieve que se miden con fines deportivos.

Conclusión: la importancia de los pronósticos de escurrimiento

Un pronóstico de escurrimiento nival tiene importancia en los ríos donde la nieve es el principal componente de alimentación. Bruniard (1994) ha identificado para la vertiente Este de los Andes este tipo de ríos, a partir de un modelo de pisos hidroclimáticos. Los pulsos estacionales originados en la fusión de nieve pueden describirse a través de 2 parámetros : volumen y distribución mensual del caudal, que constituye la estacionalidad (con sus componentes inicio, pico, duración). Los datos de cateo han servido para pronosticar el volumen con resultados moderadamente satisfactorios, pero no para pronosticar la estacionalidad. Puede considerarse que los colchones de nieve tampoco han sido de mayor utilidad para pronosticar la estacionalidad, contra lo que pudiera suponerse. Estos dos temas, utilidad de los cateos y de los colchones, pueden analizarse un poco más.

La importancia de la información nivológica en cordillera central en relación al planeamiento energético ha disminuído notablemente. Con la entrada en funcionamiento de las presas del Comahue, que generan 5 veces más electricidad que las del Oeste, a lo que se agrega Yacyretá, la variabilidad interanual del caudal de los ríos del Oeste tiene, desde el punto de vista energético, un peso mucho menor que el que tuvo durante las décadas del ‘60 y ‘70. Pero en relación al planeamiento agrícola, tanto a nivel de la previsibilidad que necesita un chacarero como a nivel político a largo plazo, la necesidad de contar con pronósticos fluviales se ha incrementado sustancialmente : desde la década del ’50 se ha extendido el área de riego y ha aumentado la capitalización de la producción (riego por goteo, por ejemplo) , por lo cual en términos unitarios el valor consuntivo del agua es mayor. En este sentido deseamos señalar que ha llegado el momento de contar con pronósticos de caudal que indiquen no sólo el volumen, sino la distribución temporal del escurrimiento. Para cumplir este objetivo habrá que abordar 3 cuestiones: en primer término debe monitorearse la climatología andina en forma integral, incluyendo la acumulación nival por rangos altimétricos. Más abajo ampliamos este tema. Segundo y, aunque se trata de una cuestión que excede el tema tratado aquí, debemos mencionar la necesidad de monitorear la temperatura en el pacífico sur, tanto el sector que los meteorólogos llaman pacífico subtropical como el de latitudes medias. Obviamente al decir esto descartamos la utilidad de bases de datos de grilla como el NCEP/reanálisis, que no constituyen observaciones. Y por último debe monitorearse la recarga y agotamiento de los manchones de nieve, cosa posible mediante imágenes satelitales de alta resolución (>1m).

La climatología de montaña puede volver a monitorearse integrando los puestos de observación automática más recientes con la puesta en funcionamiento de las estaciones meteorológicas clásicas. Esto implicaría un aumento sustancial del presupuesto necesario. A su vez esto tiene que ver con una mejor valoración de la utilidad de los sistemas de monitoreo. El punto central que hace a esta cuestión es la actividad económica vinculada directamente con el río. En el caso de las provincias del Oeste del país prácticamente la totalidad de la actividad productiva, agrícola o no, depende del escurrimiento Andino. Será interesante entonces ver qué porcentaje del PBG puede llegar a representar el funcionamiento de una red de monitoreo. No abordaremos aquí esta tarea pero si destacaremos, luego de ver la historia de la redes cordilleranas, que hace 60 años, siendo mucho menor la actividad económica existía una red más densa, y que puede suponerse fue más costosa en términos unitarios en razón de diferencias tecnológicas respecto a la actualidad (Argentina, 1958; Menajovsky, 2005) :

Debería evaluarse la vuelta al funcionamiento de las estaciones meteorológicas con personal en Patos superior (con excelentes condiciones de abrigo, ver Vallejos y Madril en Argentina, 1969), Cristo Redentor, Valle Hermoso y Catedral 2000. Sería conveniente agregar un puesto integral en Las Lagunas, en Neuquén. Así quedaría cubierto el tramo de los Andes entre los 32° y 41°. Estas estaciones podría a su vez ser centro de algunos puntos adicionales de medición con totalizadores integrados a la teletransmisión y donde puedan realizarse cateos quincenales o mensuales. Los totalizadores puede instalarse donde funcionaron algunos de los de la DMGH. Los cateos pueden realizarse retomando los sitios de la red de AyEE. De esta manera se aprovecha la excelente oportunidad de continuar la serie histórica. La mayor extensión de series de datos climáticos asegura mejores resultados en los estudios de variabilidad. En cuanto a los recursos hídricos de la Cordillera Central, la cuestión clave no son los posibles adelantamientos o retardos en la estacionalidad del escurrimiento, sino la variabilidad interanual de las precipitaciones nivales de invierno. Incluso para el caso de ríos que drenan cuencas con amplio desarrollo de glaciares (Lascano y Villalba, 2007). Como un ejemplo del trabajo más amplio al que apunta nuestra propuesta podemos mencionar el caso del sitio “Real de los Camineros”, de la red de la DMGH. La Memoria correspondiente a este punto de registro describe el sitio como “...una explanada rodeada al norte, a 800 metros por el cordón de las Yaretas, al sud a 900 metros por el cordón del Potrillo, al este por la quebrada de acceso al Portillo Argentino y al oeste está protegido de los vientos más fuertes, por los cerros del Portillo”. En este caso el atractivo está en la cota del sitio, 4020 metros. Teniendo en cuenta lo visto en la figura 4 es una excelente oportunidad para lograr lo que ya quedara mencionado en los estudios nivológicos del Anuario de AyE : medir la nieve en sitios más altos.

Agradecimientos : a Daniel Cielak y todo el personal de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación por facilitar datos de caudal y de EAN. Al ing. Juan Carlos Rucio, ex Agua y Energía, por los relatos de las campañas y la descripción de los sitios de cateo de AyE. Al ing. Julio Porrino de la AIC por atender nuestras consultas. A Jorge Abeyá, del DGI de Mendoza, por revisar este escrito y por facilitar datos de caudal y de EAN. Al ing. Kostic, de la Biblioteca Técnica de la Secretaría de Energía por facilitarnos los anuarios de Hidronor y el documento de AyE de 1987. Al depto. de Hidrometeorología del SMN por facilitar los datos y las memorias de la DMGH.

Referencias

- Abeyá, J. (2005a). Departamento de Evaluación de Recursos Hídricos, Departamento General de Irrigación Provincial. Obtención de datos hidronivometeorológicos por medio de estaciones remotas. Congreso Nacional del Agua. CD. Mendoza.
- Abeyá, J. (2005b). Departamento de Evaluación de Recursos Hídricos, Departamento General de Irrigación Provincial. La medición del equivalente de agua de la nieve. Congreso Nacional del Agua. CD. Mendoza.
- Argentina (1945). Secretaría de Aeronáutica. Servicio Meteorológico Nacional. Instrucciones hidrológicas. Precipitación. Serie D, 3ra parte. Buenos Aires.
- Argentina (1958). Agua y Energía Eléctrica. Anuario hidrológico 1949-1952. Buenos Aires.
- Argentina (1962). Consejo Federal de Inversiones. Evaluación de los recursos naturales de la Argentina (primera etapa). Tomo IV. Recursos Hídricos Superficiales. Buenos Aires.
- Argentina (1969). Provincia de Mendoza. Ministerio de obras y servicios públicos. Actas de las Primeras jornadas de nivología. Inédito. Mendoza. Disponible en la biblioteca del Instituto Argentino de Nivología y Glaciología, IANIGLA – CONICET.
- Argentina (1974). Servicio Meteorológico Nacional. Estaciones meteorológicas argentinas 1855-1973. Buenos Aires.
- Argentina (1987). Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Agua y Energía Eléctrica. 40 años Agua y Energía Eléctrica. Buenos Aires.
- Argentina, varios años (1978-1992). Ministerio del Interior. Hidronor. Memoria Anual. Disponibles en el Centro de Documentación e Información de Energía, Secretaría de Energía.
- Argentina (1994). Ministerio del Interior. Hidronor – HIMECO S.R.L. Informe Nivelógico 1982-1993. Cipolletti.
- Argentina Subsecretaría de Recursos Hídricos. Series completas de cateos y EAN hasta 2004. Datos en soporte digital facilitados al IANIGLA - CONICET. Buenos Aires. 2004.
- Argentina (2005a). Servicio Meteorológico Nacional. Dirección de Hidrometeorología. Planillas de registro de nivómetros y pluvionivómetros totalizadores. Consultados en 2005
- Argentina (2005b). Servicio Meteorológico Nacional. Dirección de Hidrometeorología. Memorias de nivómetros y pluvionivómetros totalizadores, 1940-1946. Consultados en 2005.
- Bruniard, E. (1994). Los regímenes fluviales de alimentación sólida en la República Argentina. Academia Nacional de Geografía, publicación especial n° 7. Buenos Aires.
- Bustillo, E. (1965). El despertar de Bariloche. 4ta edición, 1997. Sudamericana. Buenos Aires.
- Capitanelli, R. (1967). Climatología de Mendoza. *Boletín de Estudios Geográficos* vol. XVI, 54-57, 17-445.
- Dressler, K; Fassnacht, S; Bales, R. (2006). A comparison of snow telemetry and snow course measurement in the Colorado river. *Journal of hydrometeorology*, 7, 705-712.
- Hantel, M; Ehrendorfer, M; Haslinger, A. (2000). Climate sensitivity of snow cover in Austria. *International Journal of Climatology*, 20, 615-640.
- Lascano, M; Villalba, R. (2007). Algunas precisiones sobre el rol de los glaciares en el escurrimiento andino. Congreso Nacional del Agua 2007. CD. Tucumán. www.infraestructura.co.nr ► cuencas hídricas.
- Lliboutry, L. (1956). Nieves y Glaciares de Chile. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Lliboutry, L. (1999). Glaciers of Chile and Argentina. U.S. Geological Service professional paper 1386-I-6. Disponible en <http://pubs.usgs.gov/prof/p1386i/chile-arg/index.html>.
- Menajovsky, S; Lima, D; Ferrer, M. (2005). Un método para el contraste de colchones de nieve. Congreso Nacional del Agua. CD. Mendoza.
- Minetti, J. L.; Poblete, G; Carletto, M ; Barbieri, P ; Sierra, E. (1986). El régimen de precipitaciones de San Juan y su entorno. CONICET. San Juan. 250 p, mapas.
- Mote, Phillip W. (2003). Trends in snow water equivalent in the Pacific Northwest and their

- climatic causes. *Geophysical Research Letters*. EE.UU. Vol. 30, nº 12.
- Serreze, M; Clark, M; Armstrong, R; McGuinnis, D; Pulwarty, R. (1999). Characteristics of the western United States snowpack from snowpack telemetry (SNOTEL) data. *Water Resources Research*, vol 35, nº 7, 2145-2160.
- Sevruk, B. (1997). Regional dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps. *Climatic Change* 36: 355–369,
- Sevruk, B. Methods for correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra. 1982.
- Sloan, W; Kilsby, C; Lunn, R. (2004). Incorporating topographic variability into a simple snowmelt model. *Hydrological Processes*, 18, 3371-3390.
- Snaider, P. (1999). Las precipitaciones nivales en la República Argentina. Secretaría de Ciencia y Técnica-Universidad Nacional del Nordeste. Informe inédito. Resistencia. Resumen y mapas presentados en las IV Jornadas de Geografía Física. Universidad Católica de Santa Fe. Santa Fe. 2000.
- Soldano, F. (1947). Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. 2 tomos. Ed. Citera. Bs. As.
- Vallejos, R. (1969). Parámetros que intervienen en el cálculo de la correlación nivo-fluvial. Iras Jornadas de Nivoglacialogía, Mendoza.
- Vallejos, R. (1973). Estudios nivológicos en los Andes cuyanos. En “El agua y el futuro regional”. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.