



DETERMINACIÓN DEL ESTADO NIVAL DE LAS CUENCAS DEL LIMAY Y NEUQUEN A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE TELEDETECCIÓN Y SIG.

Griselda Ostertag¹

Fernando Frassetto

Romina Solorza

Ana Paula Salcedo

Resumen

La Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, (A.I.C.) dispone de un equipo de Recepción de Imágenes Satelitales y una red de Estaciones Nivelógicas en Alta Montaña de los ríos Limay y Neuquén, como parte de su sistema integrado para la toma de decisiones en el manejo de hidrología operativa. En este trabajo se detalla el método para la evaluación del paquete nival en forma sistemática durante el período invernal y al final de éste para la prevención de situaciones críticas para la población y para la previsión de los derrames de la primavera y verano de cada ciclo hidrológico.

En este trabajo se define el método operativo para la determinación del paquete nival, en las cuencas de los ríos Limay y Neuquén, haciendo una evaluación por subcuencas, partir de las imágenes satelitales de alta resolución GOES 12. Se presentan mapas de las cuencas y subcuencas detalladamente digitalizadas considerando la divisorias de aguas a efectos de caracterizar el comportamiento nival en cada subcuenca y lograr una estimación de área nevada más precisa y exacta. Las imágenes satelitales se procesan con el Sistema de Información Geográfica IDRISI, georeferenciando cada una de las bandas, utilizando puntos de control destacados. El mismo proceso se realiza para las subcuencas. Mediante los métodos de tratamiento y procesamiento de imágenes satelitales contenidos en este GIS, se seleccionaran las bandas más representativas para la detección del manto nival. Una vez seleccionadas se aplicarán a las imágenes distintos tipos de clasificación aceptando el método que confrontado con la información real resultase más eficiente, luego se realiza el cálculo total de las áreas de cada cuenca y subcuencas.

¹ Centro de Pronósticos – Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas. Calle 9 de Julio y Miguel Muñoz – Cipolletti, Río Negro – 0299-4786557 – gostertag@cepropa.com.ar

El resultado de este procesamiento se verifica con datos de estaciones nivológicas de alta montaña, se realiza análisis de la situación nival de las cuencas comparativamente con años anteriores, representados en la serie histórica de acumulación nival.

Del análisis de las imágenes satelitales y datos de telemedición de nieve se pueden caracterizar los últimos dos períodos hidrológicos, 2005 y 2006 como ricos, en la historia nival medida de las cuencas, comparables a los años de máxima acumulación

Palabras claves: Imágenes Satelitales, Área Nevada, Cuencas, SIG, Series Históricas.

Introducción

Una porción importante de los derrames de las cuencas de los ríos Limay y Neuquén se producen a partir de la nieve acumulada en montaña. Parte de la precipitación de invierno se acumula como nieve en las altas cuencas, formando reservorios que durante los meses de primavera y verano conforman una porción importante del escurrimiento en los ríos.

Evaluar el paquete de nieve antes del comienzo de la fusión es fundamental para la previsión de los derrames. La disponibilidad de esta información permite la programación de un adecuado manejo de aguas que responda a las necesidades y restricciones de abastecimiento humanos e industriales, riego y drenaje, hidroelectricidad, atenuación de crecidas y requerimientos ecológicos.

Tanto la instalación de instrumental destinado a registrar automáticamente como así también, la medición manual de la acumulación nival en las cuencas de los ríos Limay y Neuquén estuvo a cargo de Hidronor S.A. a partir de julio de 1993, estas tareas quedaron a cargo de la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro. Estas mediciones se realizan en las mismas estaciones, para las mismas fechas, desde el año 1982, permitiendo de esta manera caracterizar el año hidrológicamente y analizar el comportamiento de la variable en el tiempo.

El análisis de la evolución nival dentro de las cuencas siempre ha sido abordado desde la toma de datos en alta montaña, Cateos, Rutas de Nieve, Snow Pillow, métodos que consideran la profundidad del manto nival. Acerca del estado del área cubierta por la nieve, no hay demasiadas referencias en el país, hemos tomado como antecedente la Metodología usada por el Servicio Meteorológico Nacional con imágenes NOAA, adaptando a ésta cambios pertinentes por trabajo en distinta escala. Buscando mayor detalle y precisión en las altas cumbres o cuencas activas y evaluando a través del tratamiento de imágenes la mejor adaptación de metodologías a las cuencas de los ríos Limay y Neuquén por sus características topográficas y climáticas.

Objetivos

Definir un método de evaluación sistemática del campo nival (área y profundidad de nieve) en las altas cuencas de los ríos Limay y Neuquén.

Determinación del área cubierta de nieve, realizando un seguimiento cronológico, para evaluar en forma comparativa con otros años, la disponibilidad de nieve para fusión, completando esta información con el análisis de los registros de las estaciones nivológicas de Alta Montaña.

Método, materiales y escala de trabajo

De acuerdo al comportamiento climático de cada año, se seleccionan imágenes en forma mensual o quincenal, desde las primeras precipitaciones sólidas desde abril, hasta finales de Octubre, cuando se inicia periodo de fusión.

El procedimiento permite identificar la extensión areal discriminando tipos de nieve, ya sean *eternas*, de *laderas* (de grado intermedio de consolidación), y *reciente* correspondiente a nieve reciente o nieve de fusión.

Para el procedimiento se utilizaron imágenes del sensor GOES 12 de alta resolución (píxel en tierra de 1 kilómetro en canal Visible), cuya estación receptora se encuentra en las instalaciones de la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas. Utilizando el sistema de información geográfica IDRISI 32 de Clark Labs Estados Unidos, se procede a la georreferenciación y a la posterior aplicación de la metodología diseñada.

Una vez realizada la corrección geométrica se procede a la digitalización de la cuenca superior de cada uno de los ríos, siguiendo la línea divisoria de aguas. Para adquirir mayor precisión en esta etapa se utilizaron imágenes del satélite Landsat TM, cuya resolución de 30 metros permitió identificar los límites entre las cuencas.

El paso siguiente, a través de un detallado análisis visual y utilizando imágenes del visible y del infrarrojo medio y térmico, consistió en la determinación de áreas de entrenamiento (que corresponden a los sitios de ubicación de las estaciones nivológicas) discriminando tipos de nieve y su diferenciación con otras cubiertas como cuerpos de agua y suelo, de acuerdo a su respuesta espectral, en una continua comparación de la información contenida en cada banda. En este aspecto es de suma importancia considerar las características del medio geográfico en cada cuenca, es decir presencia de vegetación, pendientes, alturas, geomorfología, etc., ya que la consideración de todos estos parámetros permite ajustar de la forma más aproximada posible, la precisión de los resultados obtenidos.

Luego de la digitalización de los vectores correspondientes se ejecutan distintos algoritmos predeterminados en el software los cuales correlacionan los niveles de todas las muestras, a fin de obtener la firma espectral de cada cubierta. Para ello se utiliza el módulo Image Processing, y los comandos Signature Development y Makesig.

Los archivos que contienen la información espectral de cada cubierta son reprocesados con el comando Maxlike (Hard Classifier) el cual permite clasificar con la máxima probabilidad, obteniendo el mapa final con cada tipo de cubierta.

Finalmente se calcula la extensión areal de cada tipo de nieve, por cada cuenca (Figura 1).

En forma sistemática se reciben los datos de telemedición de las estaciones nivológicas en alta montaña, y a través de herramientas estadísticas, cuadros, gráficos se efectúa una evaluación analizando la correspondencia de la información registrada en las estaciones de alta montaña con el extraída de las imágenes satelitales.

La escala de análisis se estableció por subcuencas, considerando las altas cuencas de los ríos Neuquén y Limay, las cuales aportan a los embalses Alicura, Piedra del Aguila, Chocón, y Cerros Colorados, con gran importancia para la generación hidroeléctrica en el período de fusión, primavera/verano. La cuencas trabajadas como unidad de estudio en forma particular son: Alto Neuquén, Curi Leuvú y Agrio, tributarias del Neuquén; Leuvú y Agrio, tributarias del Neuquén; Collón Curá, Catan Lil y Alto Limay, tributarias del Limay.

Para la realización del presente trabajo se cuenta con la siguiente información y material:

- Imágenes Satelitales Goes 12 de alta resolución – Autoridad de Cuencas –
- Datos de Alta Montaña de estaciones Nivológicas de Telemedición – Autoridad de Cuencas.
- Cateos de profundidad de nieve de Rutas de Nieve, localizadas en distintas cotas de las altas cuencas – Autoridad de Cuencas –
- Series históricas de datos de Nivología desde el año 1982 – Autoridad de Cuencas.

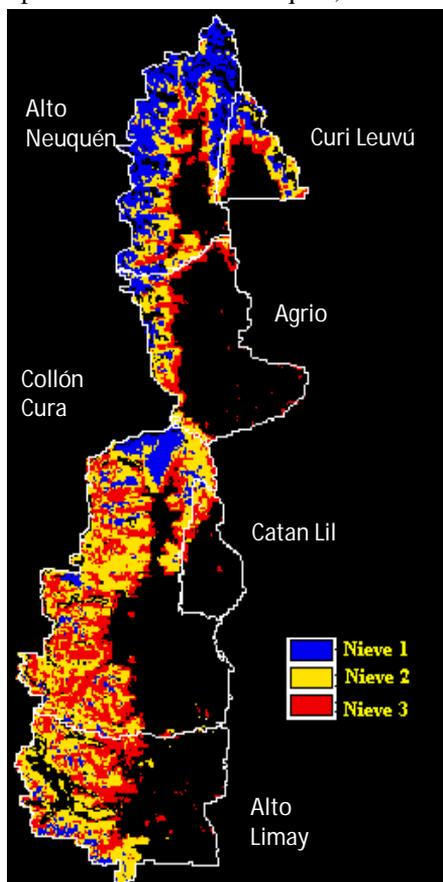


Figura 1: Clasificación de nieve por Cuenca

Resultados

Porcentaje de superficie nevada por cuenca

La evaluación del área cubierta de nieve se realizó en los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto del año 2006, y Septiembre del año 2005, en las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Collón Cura.

La cobertura nival total estimada (tabla 1), corresponde a nieve de las cotas más altas y a la nieve de acumulación invernal ubicada en laderas por encima de los 1200 metros. Las nevadas recientes no fueron registradas en esta tabla, sino que se analizaran en otro cuadro ya que su dinámica es diferente y su fusión es más rápida, por lo que no merece ser considerada dentro del paquete nival disponible para fusión.

Tabla 1: Superficie total del Área Nevada por cuenca

Cuenca	Sup.total de la cuenca (Km ²)	Superficie nevada (en %) al 26-09-05	Superficie nevada (en %) al 25-05-06	Superficie nevada (en %) al 26-06-06	Superficie nevada (en %) al 13-07-06	Superficie nevada (en %) al 29-08-06
Alto Neuquén	8513	61	(*)	21	27	58
Curi Leuvú	2376	60	1	14.5	32	24.5
Agrio	7763	26	- (*)	(*)	21	15
Collón Cura	15501	8	4	(*)	14	2
Catan Lil	2289	16	3	(*)	16	- (*)
Alto Limay	8908	25	0.5	(*)	6	1

(*) Sin posibilidad de registrar datos debido a presencia de cobertura nubosa.

Las cuencas del sur, de los ríos Limay y Collón Cura y la del norte, del río Neuquén, reúnen rasgos específicos en relación a clima, geomorfología, vegetación y litología, que establecen el comportamiento de las nevadas, su acumulación y posterior fusión.

La cordillera de los Andes constituye un encadenamiento continuo de alturas que en las nacientes del Neuquén oscilan entre los 2.000 y los 2.500 m, otorgándole al paisaje una topografía accidentada de fuertes pendientes. Los rasgos orográficos que predominan en la alta cuenca determinan las condiciones climáticas, debido a que la cordillera constituye una verdadera barrera para las masas de aire húmedas provenientes del océano Pacífico. De este modo, las precipitaciones se producen en una franja muy estrecha de la cuenca, mayormente en forma de precipitaciones níveas. Esto da como resultado una mayor acumulación de nieve en la cuenca del norte, situación visible en el cuadro.

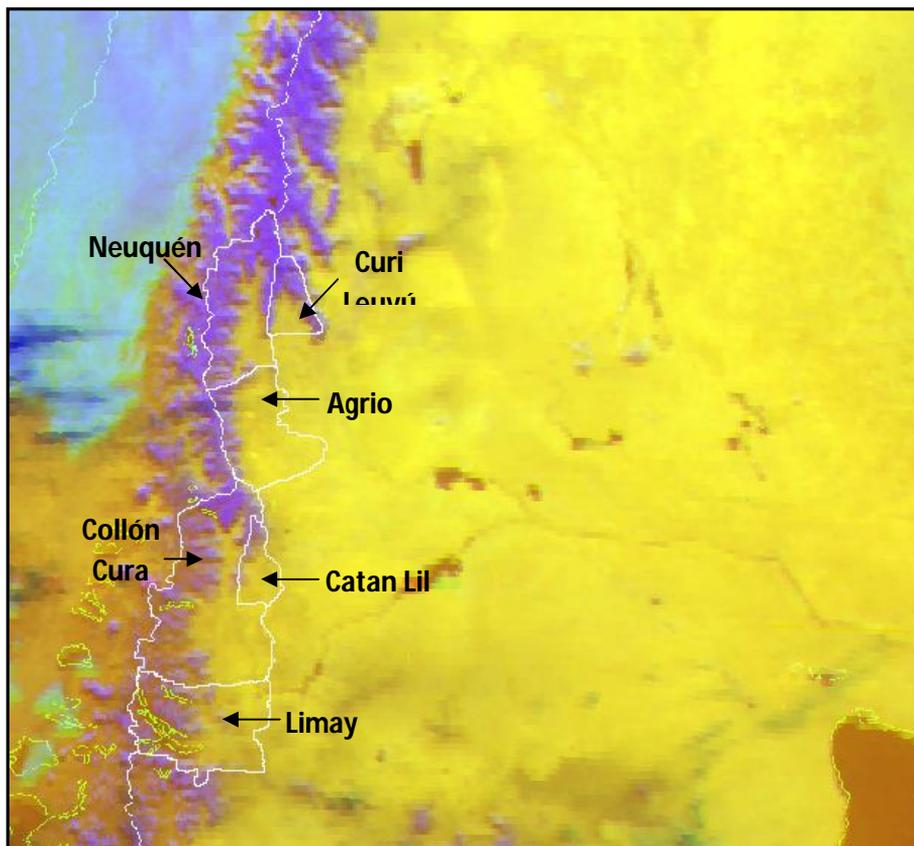


Figura 2: Área Nevada - Imagen Satelital del 28 de Agosto del 2006 Niveles de cobertura nival en base a clasificación de imagen en falso color compuesto

El grado de las pendientes, el porcentaje de cobertura vegetal y las características del suelo son factores que influyen en la velocidad y tipo de fusión. A diferencia de las cuencas del norte, las cuencas del sur poseen grandes extensiones de bosque y suelo cubierto. La ausencia de vegetación arbórea en la zona andina de la cuenca del Neuquén y su fuerte pendiente (15% en los primeros 60km de la cuenca) son dos factores que facilitan la rápida transmisión de la escorrentía procedente de cualquier suceso meteorológico (precipitación o fusión nival) al caudal del río.”²

Las cuencas activas presentas distintas características por lo cual la nieve caída

² Fernández Muñoz, Santiago “El bajo Neuquén. La transformación de un espacio natural en un territorio agrícola en la Patagonia argentina” Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. 2003

adopta un comportamiento particular en correspondencia con ello. En la cuenca del río Limay, la altitud relativamente baja de la cordillera, permite el ingreso más franco de las masas de aire húmedo, permitiendo el desarrollo de bosques templados de alta densidad que se ven influidos en su desarrollos y expansión por el gradiente oeste - este de precipitación que varía aproximadamente entre 4000 mm anuales en la estación El Rincón a 900 mm anuales a la salida del Lago Nahuel Huapi (Bariloche). La presencia de dos barreras orográficas importantes dentro de la cuenca del río Collón, (Cordillera de los Andes y Sierras del Catan Lil) da características particulares en el comportamiento de la distribución de las precipitaciones líquidas y sólidas. La extensión latitudinal de la cuenca del Collón Curá provoca un comportamiento muy diferenciado sobre las cabeceras de la cuenca en comparación a la zona sur en su desembocadura.

El Río Neuquén tiene sobre sus nacientes, al oeste, la barrera orográfica de mayor desarrollo altitudinal con respecto a las otras cuencas, lo que provoca una marcada diferencia en el volumen de precipitación que descargan los frentes sobre ella, cobrando mayor importancia aquí la acumulación nival. Existe también en ella la presencia de otra barrera orográfica importante La Cordillera del Viento.

El comportamiento pluvionival de la alta cuenca del río Neuquén se identifica más con el de la Cordillera Mendocina y cuenca del Río Colorado.

La siguiente Imagen Satelital (Figura 2) correspondientes a la evaluación realizada el 28 de Agosto de 2006, es una composición falso color compuesto en la que se han utilizado las bandas del visible, infrarrojo medio y térmico. Se observa la cobertura nival en tonos violáceos y lilas. La intensidad de los colores está en estrecha relación con el nivel de reflectancia de cada cubierta. En este caso la nieve más consolidada se observa en tonos violeta más oscuros ubicada principalmente en las cuencas de los río Neuquén y Curi Leuvú. Por el contrario, la palidez de los tonos violáceos se aprecia en las cuencas del sur, lo que hace referencia al menor grado de consolidación de la nieve.

Análisis por tipos de nieve

Los tipos de nieve discriminados se clasifican en NIEVE 1, NIEVE 2 y NIEVE 3 correspondientes a:

- NIEVE 1: Nieve de alta montaña, glaciares y nieves eternas. Poco visible después de una gran nevada, excepto en las altas cumbres. Tipo característico de cumbres neuquinas y mendocinas.
- NIEVE 2: Nieve de acumulación invernal, ya pisada y consolidada. Se presenta especialmente sobre las laderas por encima de los 1200 metros de altura.
- NIEVE 3: Nevadas recientes, de fusión rápida. Se presenta sobre laderas más bajas y boscosas. La textura aparece en la imagen con mezcla de vegetación.

Fechas	CUENCAS RIO NEUQUEN								
	Alto Neuquén			Curi Leuvú			Agrio		
	Nieve 1	Nieve 2	Nieve 3	Nieve 1	Nieve 2	Nieve 3	Nieve 1	Nieve 2	Nieve 3
25-May	*	*	*	sin registro	1,2	4,4	0,3	6,4	0,22
26-Jun	6	15,5	0,21	5	10	1,4	*	*	*
13-Jul	16,3	10,4	7,4	22	13	4,3	16	6	2
29-Ago	36,5	22	12	15	20	18	4	11	14

(*) Sin posibilidad de registrar datos debido a presencia de cobertura nubosa.

Tabla 2: Análisis de tipos de nieve en porcentaje para cada cuenca – Río Neuquén

Fechas	CUENCAS RIO LIMAY								
	Collón Cura			Catan Lil			Alto Limay		
	Nieve 1	Nieve 2	Nieve 3	Nieve 1	Nieve 2	Nieve 3	Nieve 1	Nieve 2	Nieve 3
25-May	sin registro	4	14,6	sin registro	3	7,02	sin registro	0,46	24,36
26-Jun	*	*	*	*	*	*	*	*	*
13-Jul	4,14	10,3	11,8	4,05	11,7	7	1,11	5,02	13
29-Ago	1,6	0,1	19	sin registro	sin registro	0,72	0,17	1,07	12

(*) Sin posibilidad de registrar datos debido a presencia de cobertura nubosa.

Tabla 3: Análisis de tipos de nieve en porcentaje para cada cuenca – Río Limay -

Del análisis de los cuadros comparativos es posible observar que los porcentajes de Nieve 1 (consolidada) son mayores en la cuenca del río Neuquén que en las del sur. Esto se debe a las mayores alturas de la cordillera en esa latitud que permiten mejor conservación de la nieve y fusión más lenta. Asimismo, se observa que los valores de Nieve 3 (fresca, reciente) son más elevados en las cuencas del sur. Esto está en relación a las condiciones de mayor humedad imperante en el área que influye en la fusión de la nieve de nevadas recientes.

Análisis de los datos nivológicos de Alta Montaña

En las figuras 3 y 4 se representaron las series históricas de acumulación nival en Alta Montaña en dos Estaciones Nivológicas, El Mocho representativa de la cuenca del río Limay, y Pampa de Chacaico representativa de la cuenca del río Neuquén.

En ellos se puede observar que los últimos dos períodos hidrológicos tuvieron un comportamiento de acumulación nival comparable a los años de máxima acumulación, Especialmente el período 2005, con el máximo histórico en la cuenca del Neuquén, 2000 milímetros de equivalente de agua nieve en la Estación Pampa de Chacaico.

Esta situación se observa también en los valores de cobertura nival porcentual para ese período en el cual las subcuencas del Alto Neuquén y de Curi Leuvú tenían un 61% y 60% del área cubierta de nieve respectivamente.

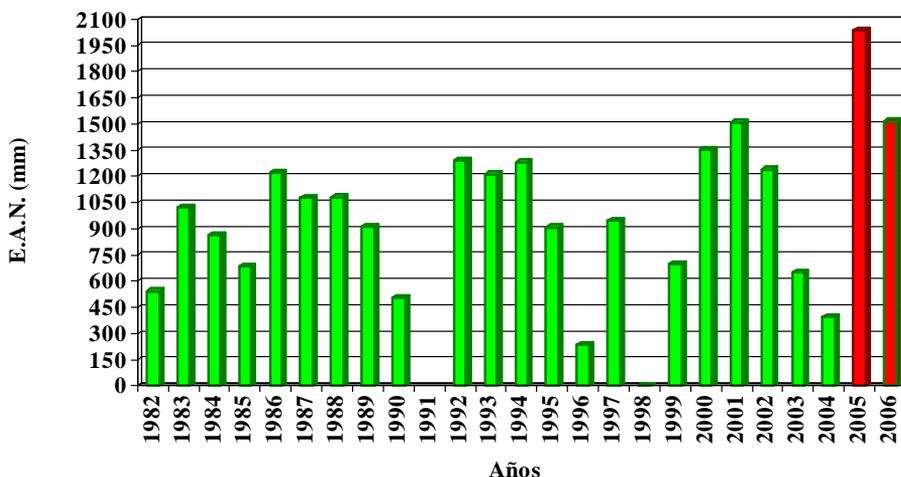


Figura 3: Estación Nivológica Pampa de Chacaico - Cuenca río NEUQUÉN -

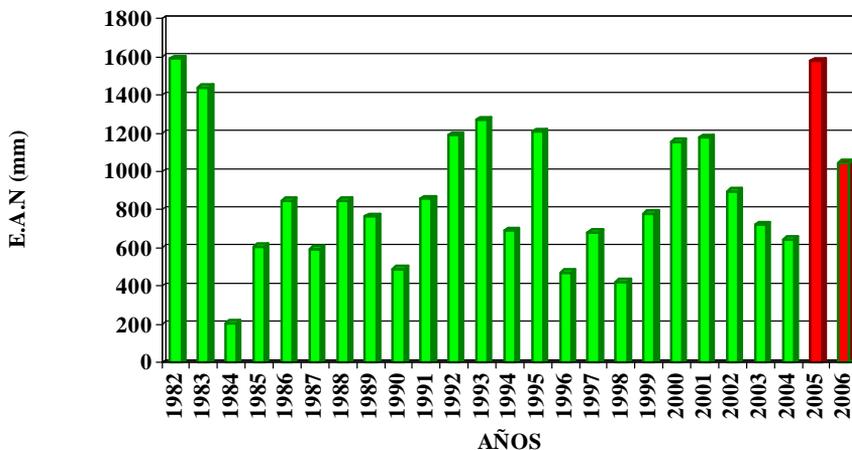


Figura 4: Estación Nivológica El Mocho – Cuenca río LIMAY –

En las figuras N° 5 y 6 se puede observar el comportamiento de las lluvias, nevadas y caudales de la cuenca del río Limay y Neuquén respectivamente, durante

los últimos 14 años. De acuerdo a la Clasificación de Caudales Mensuales³, los últimos 2 períodos hidrológicos han clasificado como húmedos en las cuencas de los ríos Limay y Neuquén, sin registrarse déficit hídrico. Mientras que los períodos hidrológicos 2003 y 2004, fueron en general deficitarios, clasificando los mismos como secos. Entre los años 2000 y 2002, se registraron ciclos húmedos con importantes lluvias y nevadas.

De la visualización de estos datos surge claramente la correspondencia directa entre las precipitaciones níveas y los escurrimientos primavera-veranos, observando los períodos extrasecos 1996 y 1998, vemos el déficit de nieve invernal incide directamente en la sequía de la primavera y verano del mismo ciclo, debido a la falta de escurrimientos por fusión. De acuerdo a las clasificaciones hidrológicas publicada por la AIC, la primavera y verano de estos años hidrológicos, 1996 y 1998⁴, han clasificado como extra-secos en ambos casos.

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE (en Km ²)	TOTAL DE SUPERFICIE CUBIERTA DE NIEVE	
		en Km ²	en %
PILCANIYEU	10735.47	5010	47
NORQUINCO	7979.94	6384	80
25 DE MAYO	27430.74	23042	84
9 DE JULIO	23807.7	10713	45
VALCHETA	21073.4	1685	8
EL CUY	21299.77	2006	9.5
BARILOCHE	5409.29	2272	42

Tabla N° 4: Calculo de área nevada por departamento en Río Negro – Nevada 1-08-2006

³ Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro – Informe Hidrometeorológico Mensual – Abril 2006 y Abril 2007 - Cipolletti, Río Negro, Argentina.

⁴ Autoridad Interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro – Informe Hidrometeorológico Mensual – Abril 1997 y Abril 1999 - Cipolletti, Río Negro, Argentina.

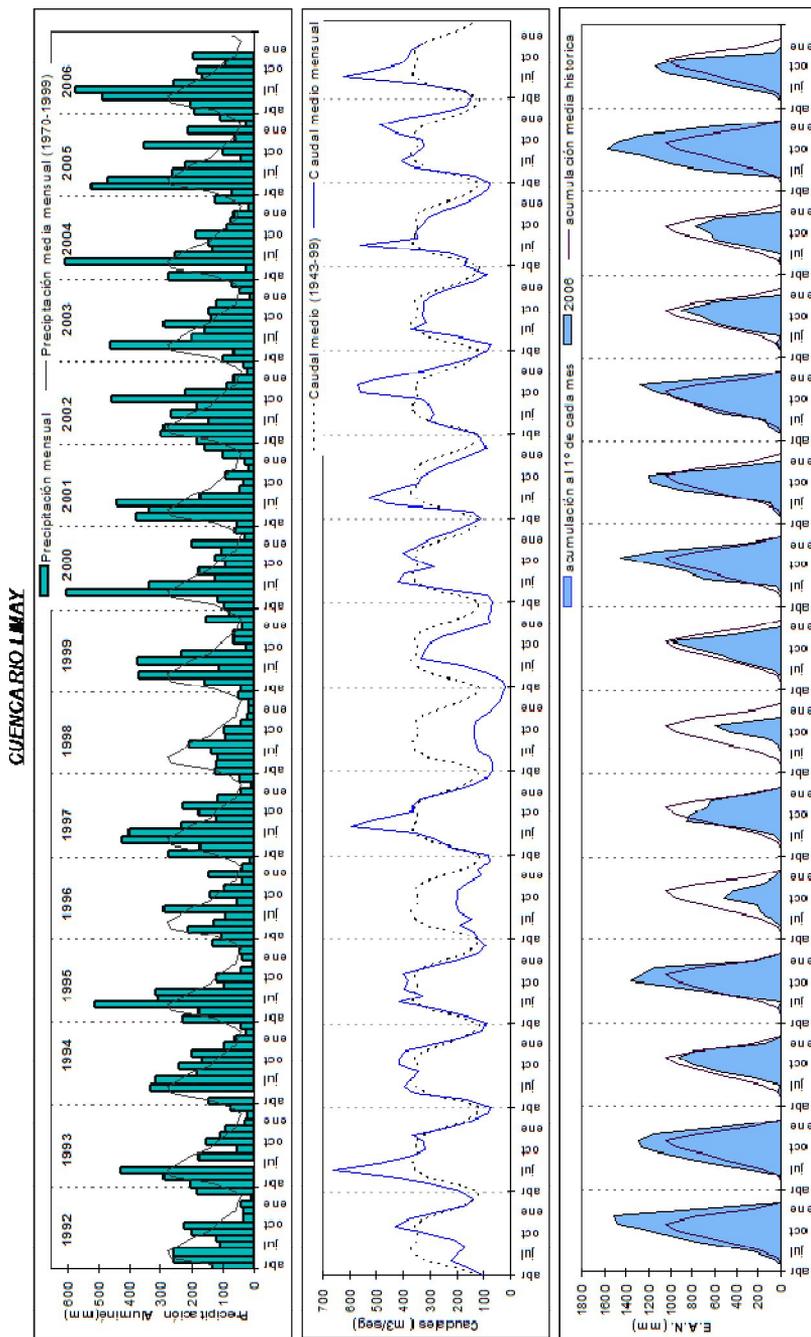


Figura 5: – Lluvias, Nevadas y Caudales – Río Limay – Período 1992-2006

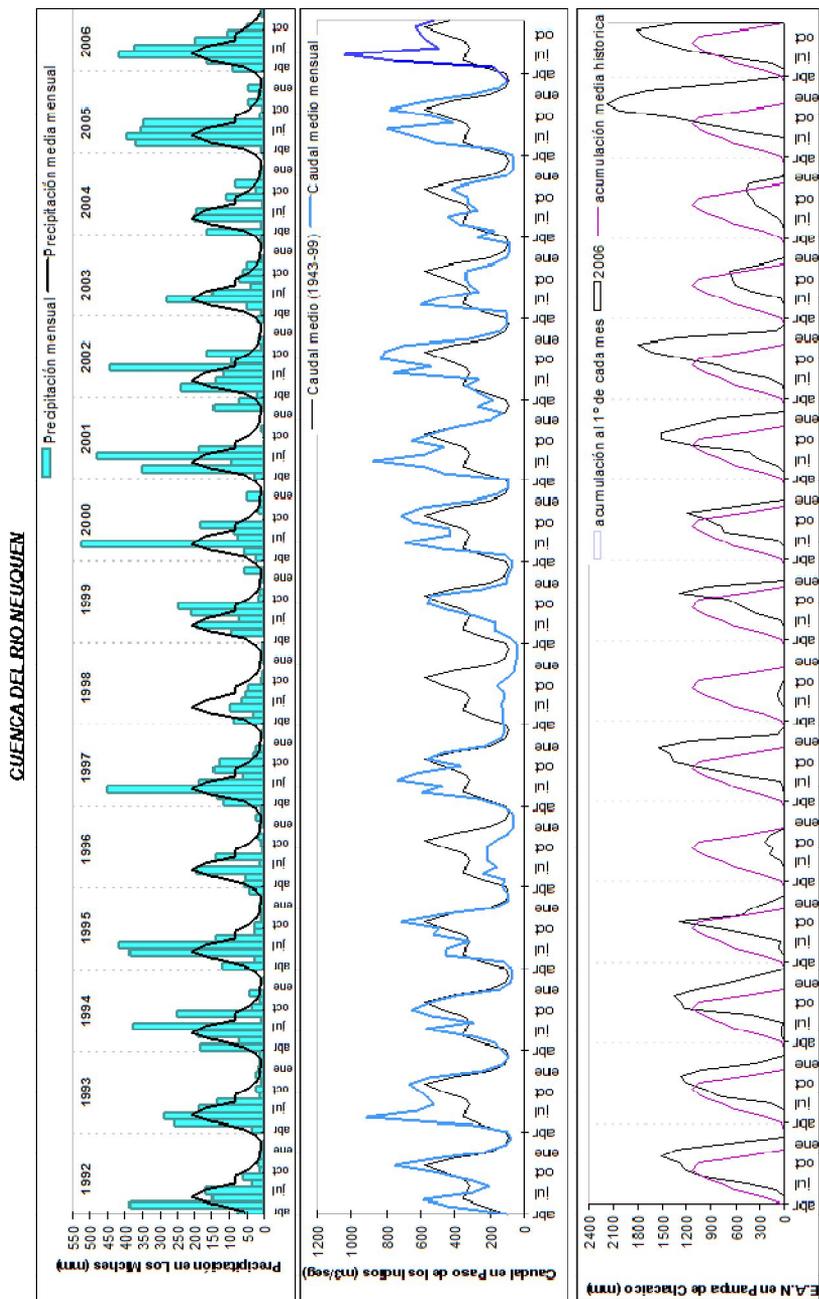


Figura 6: - Lluvias, Nevadas y Caudales v Río Neuquén – Período 1992-2006

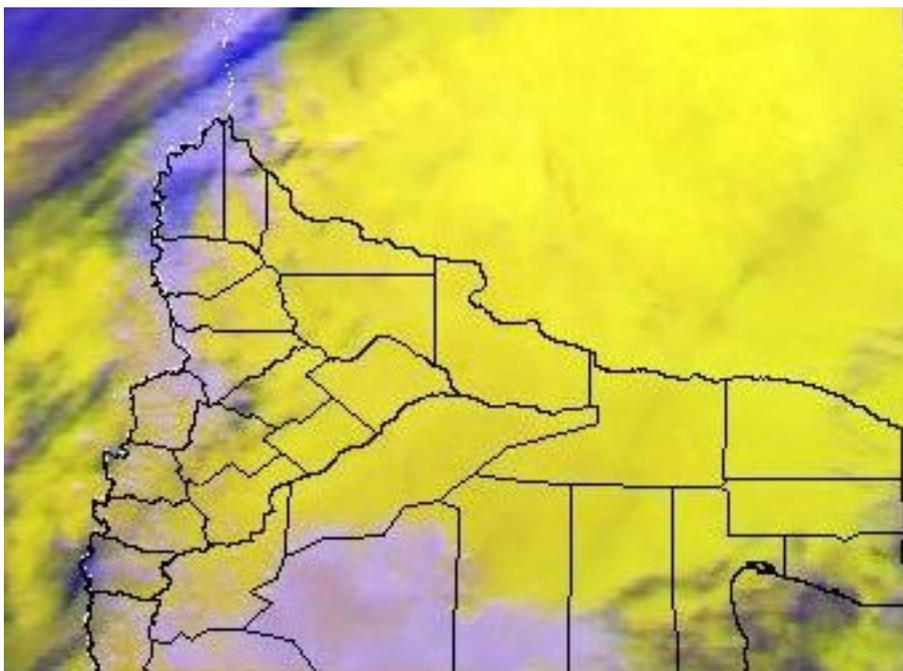


Figura 7: Cobertura de nieve en la Meseta de Somoncurá -Río Negro-. 1-08-2006

Conclusiones

La evaluación de cobertura nival y profundidad de nieve es una herramienta fundamental en las cuencas de los ríos Limay y Neuquén para la evaluación de los derrames de primavera-verano. Conocer la magnitud del paquete de nieve antes del comienzo de la fusión es un indicador básico para la previsión de los derrames. La disponibilidad de esta información es fundamental para la programación de un adecuado manejo de aguas que responda a las necesidades y restricciones de abastecimiento humanos e industriales, riego y drenaje, hidroelectricidad, atenuación de crecidas y requerimientos ecológicos.

La evaluación de área nevada a través de las imágenes satelitales, en forma operativa, es una herramienta en tiempo real

para la toma de decisiones en el pronóstico a corto plazo. En años húmedos con una alta frecuencia en el ingreso de sistemas frontales, es normal la ocurrencia de precipitaciones níveas que provocan acumulación superficial en las cotas medias y bajas de las cuencas. El ingreso posterior de aire más cálido con lluvias provoca escurrimientos rápidos con el consecuente impacto sobre poblaciones, infraestructura y áreas que no pertenecen necesariamente a la cuenca activa.

Desde la Autoridad de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro se realizan sistemáticamente estas evaluaciones que permiten tomar decisiones

políticas y de ayuda social en eventos climáticos extremos. Un ejemplo ello es la nevada del 1 de agosto del 2006 sobre la línea sur de la provincia de Río Negro, Meseta de Somoncurá, (Figura N° 7), que dejó aisladas poblaciones (Tabla N° 4) y con el procesamiento operativo de las imágenes satelitales y la evaluación de áreas cubiertas de nieve en forma sistemática, se tomaron decisiones de gobierno, para la prevención y acción en situación de emergencia, evacuaciones, ayuda vía aérea con combustible y alimento.

Referencias

ALLARD M.J. MEIJERINK, (1994) "Introduction to the use of geographic information systems for practica hydrology", International Institute for Aerospace, Survey and Earth Sciences (ITC)

AUTORIDAD INTERJURISDICCIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS LIMAY, NEUQUÉN Y NEGRO (2006). Secretaría de Operaciones y Fiscalización – "Informe Hidrometeorológico Mensual" – Cipolletti – Río Negro

AUTORIDAD INTERJURISDICCIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS LIMAY, NEUQUÉN Y NEGRO (1994) – Secretaría de Operaciones y Fiscalización – "Informe Nivelógico 1982-1983" – Cipolletti – Río Negro.

AUTORIDAD INTERJURISDICCIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS LIMAY, NEUQUÉN Y NEGRO (1995) – Secretaría de Operaciones y Fiscalización – "Estadística de Caudales Medios Diarios y Derrames". Cipolletti – Río Negro.

CHUVIECO, EMILIO (1990), "Fundamentos de Teledetección Espacial", Ediciones Rialp, Madrid.

HIDRONOR S.A. (1987), Departamento de Recurso Hidricos, "Trabajos de Nivelología, Estaciones Nivelométricas", Cipolletti, Río Negro.