

¿Cómo ha variado la disponibilidad de agua en la ecorregión de los bosques valdivianos en los últimos siglos?

Rocío Urrutia (*), Antonio Lara (*), Ricardo Villalba ()**

(*) Núcleo Científico Milenio FORECOS, Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

(**) Laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental, IANIGLA, Mendoza, Argentina. E-mail primer autor: rociourrutia@uach.cl

La disponibilidad de agua es una de las principales limitaciones para el desarrollo futuro y la actividad económica en muchas regiones del mundo (Arnell *et al.* 2001, Viviroli *et al.* 2003). Esto es aplicable no solo a las regiones áridas y semi-áridas, sino también a zonas con alta pluviosidad y excelente calidad de agua como la ecorregión de los bosques valdivianos en el centro-sur de Chile (35° - 48° S) y áreas adyacentes de Argentina. Los caudales y la disponibilidad de agua son cruciales para la hidroelectricidad, considerando que un 50% del total nacional de la producción eléctrica está concentrada en la porción norte de la ecorregión. Los caudales son importantes además para el riego, principalmente en el área comprendida entre los 35° y 38° S (Lara *et al.* 2003). Por último, el agua es también vital en la parte sur de esta región (40° - 48° S) para la industria del salmón, la que comprende sobre un 80% del valor de las exportaciones de la Región de Los Lagos, siendo importante además para la pesca deportiva y para la industria del turismo (Soto y Lara 2001, Lara *et al.* 2003).

Los caudales están primariamente controlados por la precipitación. Investigaciones recientes enfocadas en los cambios climáticos globales observados en las últimas décadas muestran una disminución de las precipitaciones entre 1900 y 1999 para vastas regiones del

planeta (IPCC 2001). El centro y el sur de Chile aparecen como una de las áreas donde esta tendencia es más pronunciada, mostrando una declinación de un 40 a 50% en las precipitaciones entre 1900 y 1999 (IPCC 2001). Por otra parte en el estudio efectuado por Pezoa (2003) se analizaron 71 años de registros de precipitaciones correspondientes al período 1931-2001, documentando una sostenida tendencia a la disminución para la mayoría de las estaciones meteorológicas ubicadas entre los 37° y 46° S.

La dendrocronología nos permite llegar a conocer en detalle y con una resolución anual los diversos fenómenos ambientales a través de la historia y a su vez entender de una mejor forma lo que está sucediendo en la actualidad, así como lo que cabe esperar para el futuro.

Además de este control natural de los caudales, investigaciones recientes han demostrado que estos están fuertemente influenciados por el uso del suelo y la cobertura forestal. Datos preliminares de dos veranos en siete cuencas de la Región de Los Lagos indicaron que los caudales *peak* de diciembre a marzo se redujeron de 668 mm en cuencas cubiertas de bosque nativo a 21 mm en cuencas comparables cubiertas por plantaciones adultas de pino radiata (Oyarzún *et al.*, enviado). Esto se debe en gran parte a la alta tasa de evapotranspiración¹ de las plantaciones de pino comparada con los bosques nativos.

Lo anterior se vuelve más crítico en la zona norte de la ecorregión (38° - 41° S) durante episodios de sequías de verano asociadas al fenómeno del Niño (Aceituno 1988, Montecinos y Aceituno 2003). Final-

¹ **Evapotranspiración** es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

mente, el incremento de la demanda de agua en las últimas décadas ha intensificado el problema de la falta de disponibilidad de este recurso para los distintos usos (Lara et al. 2003).

DENDROCRONOLOGÍA: DESCUBRIENDO EL PASADO A TRAVÉS DE LOS ANILLOS DE LOS ÁRBOLES

La dendrocronología es la ciencia que estudia eventos históricos a través del ancho de los anillos de los árboles. Lo anterior es posible pues en las zonas templadas cada anillo de crecimiento está asociado a un año en particular y refleja por tanto las condiciones medioambientales imperantes en dicho año. El clima es uno de los factores que queda registrado en los anillos de crecimiento; es así como por ejemplo y dependiendo de los requerimientos de cada especie, el que un año sea más o menos lluvioso, incide en un mayor o menor crecimiento del anillo durante ese año.

De este modo la dendrocronología nos permite llegar a conocer en detalle y con una resolución anual los diversos fenómenos ambientales que se han ido produciendo a través de la historia y a su vez nos posibilita entender de una mejor forma lo que está sucediendo en la actualidad, así como lo que cabe esperar para el futuro. La dendrocronología posee diversas aplicaciones, entre las cuales se encuentra la reconstrucción de variables climáticas. Es así como en Chile se han efectuado reconstrucciones de temperatura y precipitación utilizando distintas especies de árboles (Lara y Villalba 1994). Dentro de los estudios realizados cabe destacar la reconstrucción de las temperaturas de verano más larga realizada en la historia (3.600 años) a partir de alerce (*Fitzroya cupressoides*) para el sur de Sudamérica (Lara y Villalba 1993). También se han realizado otros estudios de reconstrucción de temperatura y precipitación utilizando lenga (*Nothofagus pumilio*) (Aravena et al. 2002, Lara et al. 2001, respectivamente).

A pesar del potencial que existe para la reconstrucción de caudales a partir de anillos de árboles, en Chile no se han desarrollado ampliamente estudios de este tipo. Por su parte, en Argentina se han realizado algunos estudios en base a cronologías de especies como ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y araucaria (*Araucaria araucana*), para reconstruir los caudales de los ríos Neuquén y Limay en el norte de la Patagonia (Holmes et al. 1979). Así mismo, cronolo-

R E S U M E N

La disponibilidad de agua es una de las principales limitaciones para el desarrollo futuro en muchas regiones del mundo. En el caso particular de la Región de Los Lagos, se ha vislumbrado una tendencia a la disminución en los registros de las precipitaciones, lo cual resulta preocupante pues la disponibilidad de agua es crucial para la industria hidroeléctrica, la salmonicultura, la pesca deportiva y el turismo, entre otras actividades. La dendrocronología es una ciencia que permite reconstruir eventos pasados a partir de los anillos de los árboles. Una de las aplicaciones de la dendrocronología es la reconstrucción de variables climáticas, tales como la precipitación y la temperatura, y de otras variables asociadas como los caudales. Existe un alto potencial para la reconstrucción de caudales a partir de anillos de crecimiento, lo cual permite determinar la variación que estos han tenido a través de la historia y las probables causas asociadas a dichas variaciones. Esta información sirve para modelar los escenarios futuros de disponibilidad de agua, los que son cruciales para la toma de decisiones oportuna y la planificación en el manejo de recursos y el desarrollo socioeconómico de la Ecorregión de los bosques valdivianos.

Palabras clave: agua, caudal, dendrocronología, anillos de crecimiento

A B S T R A C T

Water availability is one of the principal limitations for the future development of many regions of the world. In the particular case of the Los Lagos Region of Chile, given the crucial role of water for hydroelectric power, salmon aquaculture, sport fishing, and tourism, among other activities, the tendency toward diminishing registered rainfall that can be discerned is a cause for concern. Dendrochronology is a science that permits the reconstruction of climatic variables, such as precipitation and temperature, and other associated variables, such as stream flows. Analysis of variation in tree-rings is a potential way of reconstructing historical stream flows, permitting determination of the probable causes of these variations. Information of this type can be used to develop models for evaluating various scenarios of future water availability, which is crucial for making timely decisions and for planning the management of resources and the socioeconomic development of the Valdivian forests eco-region.

Key words: water, streamflow, dendrochronology, tree-rings

Recibido: 17 de junio de 2005.

Aceptado: 24 de marzo de 2006.

Recuadro I

Núcleo Científico Milenio FORECOS

El Núcleo Científico FORECOS "Servicios ecosistémicos del bosque nativo a sistemas acuáticos bajo fluctuaciones climáticas" es un Centro Milenio de la Universidad Austral de Chile (UACH). Este Núcleo centra sus esfuerzos científicos en la investigación de la capacidad del bosque como productor de agua y el efecto que esto tiene en actividades económicamente relevantes como la salmonicultura y la pesca deportiva, y en otras de gran impacto social como la provisión de agua para comunidades rurales y urbanas. Por otra parte, la investigación del Núcleo se centra en la búsqueda de los sistemas silviculturales más idóneos que permitan maximizar la producción de este recurso.

La complejidad científica de la línea de investigación del Núcleo, requiere que esta sea abordada desde una perspectiva transdisciplinaria, por lo que FORECOS está conformado por un grupo de investigadores de tres facultades distintas y de ocho institutos de la UACH.

La perspectiva con que se aborda este estudio busca integrar la investigación, la educación, el fortalecimiento de redes de colaboración, así como la proyección al medio externo, vistos como procesos simultáneos, que se retroalimentan en forma sinérgica. Para FORECOS el medio externo incluye al gobierno, las empresas, organizaciones no gubernamentales, propietarios de bosques y a la comunidad en general, por lo que uno de los desafíos más importantes de este centro es hacer llegar del mejor modo posible la ciencia a la sociedad.

Este Núcleo, financiado por la Iniciativa Científica Milenio de MIDEPLAN, tuvo su primera etapa de desarrollo entre 2002 y 2004, centrándose básicamente en la cuantificación de los servicios ecosistémicos y de la producción de agua a partir de los bosques nativos en la X Región de Los Lagos. Actualmente se encuentra en su segunda fase de desarrollo hasta el año 2007, expandiendo su área de investigación a toda la Ecorregión de los bosques valdivianos (35°-48° S) y ampliando su ámbito de estudio, cubriendo además los aspectos de restauración de servicios ecosistémicos y su valoración económica.

gías de ciprés de la cordillera de Chile Central han sido utilizadas para reconstruir el caudal del río Atuel en la provincia de Mendoza (Cobos y Boninsegna 1983).

La mayor parte de los registros instrumentales de caudales en la ecorregión valdiviana comienzan después de 1930. La corta longitud de dichos registros limita el entendimiento adecuado de los patrones de variación de los caudales y de las posibles causas asociadas a dicha variación, así como el desarrollo de predicciones confiables de la disponibilidad futura de agua. La correlación entre los anchos de anillos y los registros de caudales para los últimos 50 a 100 años, es lo que nos permite reconstruir estos registros para los últi-

mos siglos e incluso milenios. A partir de la existencia de una correlación significativa y realizando análisis de regresión que proporcionen estadísticos confiables y significativos, se pueden reconstruir caudales en base a los anillos de crecimiento de los árboles.

Este tipo de estudio, sin embargo, tiene ciertas limitaciones, puesto que al realizar una reconstrucción de caudales o de variables climáticas, la variabilidad en el crecimiento de los árboles no es completamente explicada por la variación en una sola condición (por ejemplo, la precipitación o el caudal), ya que este crecimiento de los árboles está influenciado por muchas variables a la vez y por una interacción entre ellas. No obstante, gran parte de la varianza es explicada en cada reconstrucción y el método dendrocronológico es uno de los más acertados para reconstruir anualmente lo que ha sucedido en términos climáticos en el pasado.

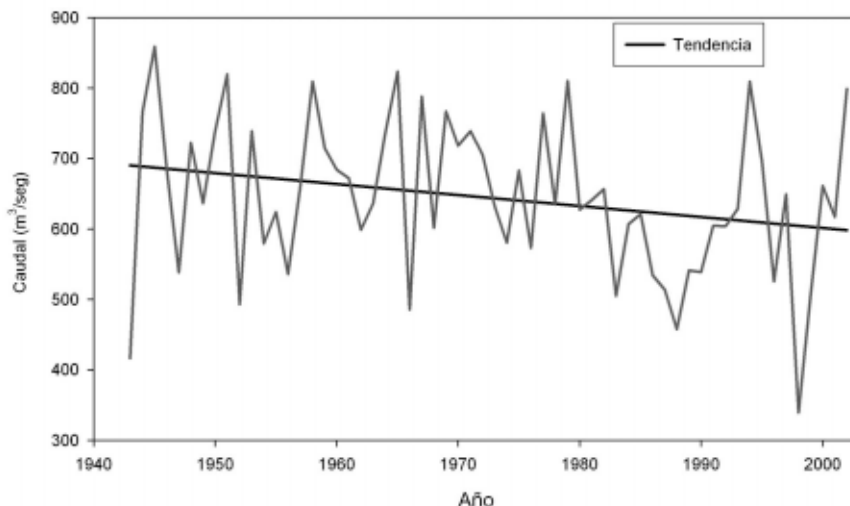
RECONSTRUCCIÓN DE CAUDALES EN CHILE

Estudios realizados por el Núcleo FORECOS de la Universidad Austral de Chile (ver Recuadro I), han evaluado el comportamiento que presentan distintas especies frente a la variación de los caudales, determinándose que ciprés de la cordillera y ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*) son las especies que mejor se correlacionan con la variación de estos. Esto significa que frente a un mayor caudal de verano, asociado a mayores precipitaciones, se producirá un anillo más ancho en el período de crecimiento siguiente, y viceversa.

Los resultados más satisfactorios en el análisis de correlación entre caudales y cronologías se obtuvieron para el río Puelo. Este río tiene un caudal promedio de 644 m³/seg cerca de su desembocadura en el estuario de Reloncaví, y tiene un régimen mixto pluvial-nival, con un máximo en invierno y con un *peak* secundario asociado al derretimiento de nieve en la primavera tardía (noviembre a diciembre). Este río de gran caudal es muy relevante puesto que su cuenca es binacional, nace en Argentina, y abarca un área de 8.901,4 km². Además es una de las principales fuentes de agua dulce del estuario de Reloncaví por lo que resulta fundamental para la salmonicultura, actividad que ha alcanzado un vasto desarrollo en esa zona.

La reconstrucción del caudal del río Puelo adquiere gran relevancia al considerar que los registros

Figura 1. Caudal del río Puelo en la estación Carrera Basilio (41°35'S) y su clara tendencia a la disminución en los últimos 60 años. Fuente: DGA (Dirección General de Aguas).



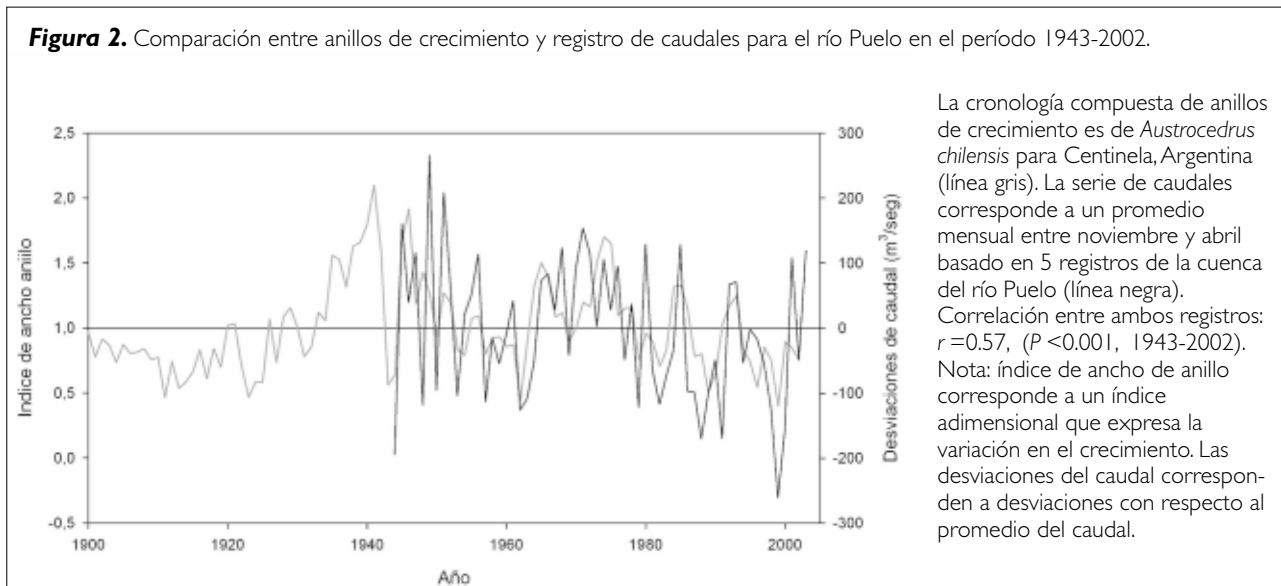
instrumentales de los últimos 60 años muestran una tendencia clara a la disminución, reflejando el patrón presentado por las precipitaciones en el área (ver Figura 1), tendencia que solo puede ser comprendida y explicada en su cabalidad si se tiene un registro extenso que muestre la variación en el largo plazo.

La máxima correlación con los anchos de anillos de crecimiento ($r = 0.57, P < 0.001, 1943-2002$, Figura 2) se obtuvo entre el caudal de noviembre a abril de la estación de crecimiento anterior y la cronología de *Austrocedrus chilensis* de Centinela (82 muestras), localidad ubicada en la Patagonia argentina (Lara et al. 2005).

La Figura 3 muestra la variabilidad de largo plazo en el crecimiento de los anillos. De acuerdo con la relación existente entre anillos y caudal y al realizar una regresión lineal, puede reconstruirse este último, el que en este caso tendría una variabilidad similar a la que presentan los anillos en esta figura.

Al analizar la variación de largo plazo del caudal, se puede observar que el último período de disminución ocurrido a partir de 1943 aproximadamente, se habría repetido hacia el pasado (a contar de 1461) al menos en tres ocasiones, si bien no con la misma intensidad, indicando la existencia de ciclos a través del tiempo. Esto resulta relevante, pues permite visualizar y comprender las variaciones que ha tenido el caudal a través de los siglos y no quedarse solo con los registros de las últimas décadas, lo cual puede resultar sesgado al tomar decisiones concernientes con la disponibilidad de agua en el río. Es necesario mencionar, sin embargo, que existe incertidumbre respecto a la extensión temporal del último período de disminución, pues no resulta claro si esta tendencia se agudizará en el futuro o bien si ya se ha llegado a la parte del ciclo donde esta comenzará a revertirse.

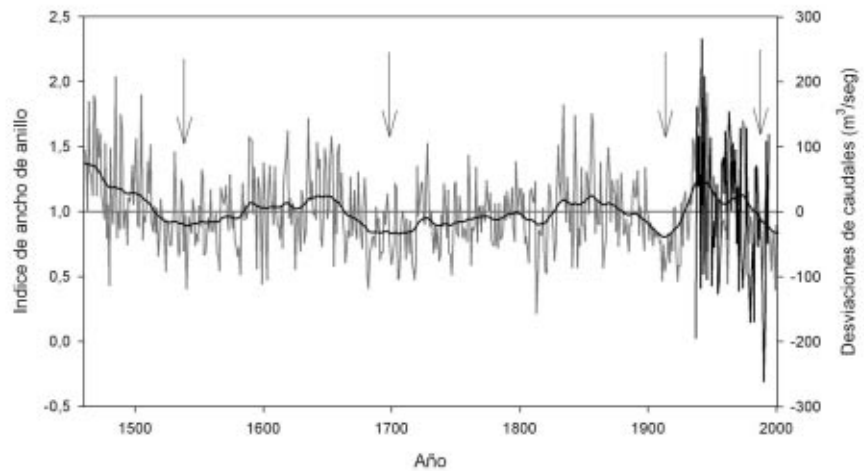
Figura 2. Comparación entre anillos de crecimiento y registro de caudales para el río Puelo en el período 1943-2002.



La cronología compuesta de anillos de crecimiento es de *Austrocedrus chilensis* para Centinela, Argentina (línea gris). La serie de caudales corresponde a un promedio mensual entre noviembre y abril basado en 5 registros de la cuenca del río Puelo (línea negra). Correlación entre ambos registros: $r = 0.57, (P < 0.001, 1943-2002)$. Nota: índice de ancho de anillo corresponde a un índice adimensional que expresa la variación en el crecimiento. Las desviaciones del caudal corresponden a desviaciones con respecto al promedio del caudal.

Figura 3. Cronología compuesta de anchos de anillos de crecimiento de *Austrocedrus* para Centinela, Argentina (1461-2002).

La línea gris corresponde a la cronología compuesta de anchos de anillos de crecimiento. La línea negra sólida a lo largo de la cronología corresponde a la versión filtrada para destacar la variación que tiene el caudal en el largo plazo eliminando la variación interanual. Las flechas son para indicar los períodos de disminución del caudal en el pasado. El registro instrumental mostrado para 1943-2002 corresponde al caudal del río Puelo y es la misma serie de caudales graficada en la Figura 2.



LA DENDROCRONOLOGÍA NO HA DICHO LA ÚLTIMA PALABRA...

La potencialidad de los estudios dendrocronológicos no solo se remite a la reconstrucción de caudales y de variables climáticas como la temperatura y la precipitación, sino que puede hacerse extensiva además a otro tipo de variables como por ejemplo a la salinidad en los estuarios.

En la Región de Los Lagos la salinidad en los estuarios y fiordos incrementa en el verano y a principios de otoño debido a la disminución en las precipitaciones y a la baja contribución de agua dulce proveniente de los ríos. Para la industria de la salmonicultura resulta fundamental un abastecimiento constante de agua dulce para disminuir los niveles de salinidad y aumentar la disponibilidad de oxígeno disuelto. En la época en que los caudales son más bajos puede verse afectada la producción en forma regular; incrementándose la mortalidad de los juveniles o *smolts* (León 2005).

Estudios realizados por Lara *et al.* (2005) indican que existe una correlación significativa entre los anillos y la salinidad en el estuario de Reloncaví, la cual se explica fundamentalmente por la relación que existe entre salinidad y disponibilidad de agua dulce proveniente de la precipitación y de los caudales afluentes al estuario y la conexión que existe entre estas últimas y los anillos de crecimiento. Dicha relación fue encontrada al correlacionar los datos disponibles (1992-2000) con cronologías de ciprés de las Guaitecas. Si la actual relación encontrada puede ser verificada al utilizar datos de salinidad más extensos, esto indicaría que existe

una alta potencialidad de realizar reconstrucciones de esta variable a partir de cronologías de ancho de anillos. Por lo anterior, se hace necesario mantener un monitoreo permanente de la calidad del agua por parte de las empresas salmoneras en el estuario de Reloncaví y en otros cuerpos de agua. De esta forma se logrará comprender las fluctuaciones de largo plazo en la capacidad de carga de la producción de salmones y se podrá entender cómo responde esta a los cambios climáticos.

CONCLUSIONES

La reconstrucción de variables tales como la precipitación, los caudales, la salinidad, así como otras asociadas a la disponibilidad de agua en cuanto a calidad y cantidad, resulta de fundamental importancia para entender la variación que estas han tenido a lo largo de los siglos e incluso milenios y las posibles causas ambientales o antropogénicas asociadas. Ello especialmente tomando en cuenta los fenómenos de cambio climático que han estado afectando a diversos ecosistemas.

La reconstrucción de caudales en la Región de Los Lagos nos da la base para saber qué está ocurriendo con la disponibilidad de agua en los ríos de esa zona del país. Nos permite conocer los principales modos de oscilación de los caudales en el largo plazo en el área, lo cual es relevante a la hora de tomar decisiones con respecto a la utilización de este recurso en distintas actividades económicas y obras de envergadura. Es recomendable que estudios futuros aborden

la reconstrucción de caudales y precipitaciones en otras áreas de la ecorregión. Esto permitirá definir claramente posibles diferencias en la variabilidad de los caudales y determinar cuáles son los forzantes climáticos que están influyendo en el comportamiento y variación de estos.

Dada la escasez general de este tipo de investigaciones en la porción sur de Sudamérica, estudios de reconstrucción de caudales en distintas regiones de Argentina podrían ayudar además a determinar y diferenciar la influencia que tiene el Océano Pacífico y el Atlántico en la disponibilidad de agua, permitiendo comprender lo que sucede en este ámbito a una escala regional más amplia.

Si bien existen estudios de este tipo en el país trasandino, estos son escasos y fueron desarrollados hace más de veinte años, por lo que no consideran la variabilidad de los últimos años en la reconstrucción y no cuentan con los análisis exhaustivos que hoy en día se realizan para el desarrollo y análisis de las reconstrucciones.

La realización de este tipo de estudios se ve fuertemente respaldada y consolidada por iniciativas científicas tales como el Núcleo FORECOS en su segunda etapa y el Proyecto FONDECYT N° 1050298 "Variabilidad de los caudales a partir de registros instrumentales y anillos de crecimiento en la Ecorregión

La dendrocronología nos permite llegar a conocer en detalle y con una resolución anual los diversos fenómenos ambientales a través de la historia y a su vez entender de una mejor forma lo que está sucediendo en la actualidad, así como lo que cabe esperar para el futuro.

de los bosques valdivianos (35° - 48° S) durante los últimos 500-1.000 años y su relación con los cambios climáticos y del uso del suelo" (ver Recuadro 2). Dichos proyectos contribuyen del mismo modo, a desarrollar modelos predictivos para abordar de la mejor forma la toma de decisiones en el sector productivo y la plani-

ficación de actividades en el ámbito de las políticas de desarrollo en la ecorregión y en todo el país.

En relación a este último punto, es importante considerar en estos días la planificación de grandes proyectos productivos que involucran una gran infraestructura como son las centrales hidroeléctricas, los cuales no pueden ignorar las características ecológicas y las condiciones propias del sistema hidrológico que los sustentan (ver Recuadro 3).

Por último, un elemento importante que ha permitido el estudio aquí presentado y que continúa facilitando la realización de este tipo de investigación, es la estrecha colaboración que ha existido entre investigadores de Argentina y Chile durante los últimos doce años. Esta ha permitido avances significativos en el uso de la dendrocronología para la reconstrucción climática en los últimos tres milenios y para el entendimiento del fenómeno de cambio global. Estos avances no habrían sido posibles sin el desarrollo de una perspectiva binacional, que ha permitido mirar esta ecorregión en

Recuadro 2.

Proyecto Fondecyt N° 1050298 "Variabilidad de los caudales a partir de registros instrumentales y anillos de crecimiento en la Ecorregión de los bosques valdivianos (35° - 48° S) durante los últimos 500-1.000 años y su relación con los cambios climáticos y del uso del suelo"

Este proyecto Fondecyt (2005-2008), propone un enfoque innovador para integrar los registros instrumentales de caudales con aquellos reconstruidos de los anillos de crecimiento, a fin de describir los patrones espaciales y temporales de variación de dichos caudales en la Ecorregión de los bosques valdivianos, para los últimos 500 a 1.000 años.

Las reconstrucciones de caudales producidas por este estudio serán de utilidad para su uso por modeladores en la generación de escenarios de disponibilidad de agua a futuro. Este proyecto propone además determinar las principales causas de los patrones de variación y analizar la relación entre los caudales y los principales forzantes climáticos, incluyendo ENSO (El Niño Oscilación del Sur), PDO (Oscilación decadal del Pacífico) y AAO (Oscilación Antártica), entre otros.

Esta investigación propone además hacer una contribución significativa al estudiar los caudales de cuencas comparables con diferente uso del suelo y cobertura forestal (bosques naturales versus plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptos) de modo de identificar los cambios de los caudales inducidos por causas naturales y distinguirlos de aquellos ocasionados por la acción antrópica.

Por último este proyecto propone relacionar los resultados obtenidos con la variabilidad climática a gran escala, proporcionando de esta forma, información que es relevante para la comprensión del proceso de cambio climático global y su impacto a escala regional.

Recuadro 3.

Central Hidroeléctrica Puelo: al parecer el agua no alcanza.

A raíz de las reducciones en el suministro de gas proveniente de Argentina, se ha renovado la discusión del tema energético en Chile y la necesidad de desarrollar o materializar nuevos proyectos de inversión para evitar una posible crisis energética. En esta discusión han resurgido diversos proyectos formulados por ENDESA, los cuales se basan en los derechos de agua que le han sido otorgados.

Dentro de este contexto, el Proyecto ENDESA de una Central hidroeléctrica en el río Puelo, plantea construir la central de este tipo más grande de Chile, con una potencia instalada de aproximadamente 1.250 MW (casi dos veces la potencia de Ralco, la hidroeléctrica más grande del país hasta el momento).

El proyecto contempla la construcción de un embalse en el río Puelo, ubicado cerca de la desembocadura del lago Tagua Tagua, cuyo nivel sería levantado por el efecto de una presa. Por otra parte, la resolución N° 570 de la Dirección General de Aguas (1990), otorgó a ENDESA un derecho de aprovechamiento no consuntivo, de ejercicio permanente y continuo de las aguas del río Puelo por 850 m³/seg. Esta resolución establece además que la captación será cercana a la desembocadura del lago Tagua Tagua y su restitución será a 1.000 metros aguas abajo de la captación, con un desnivel entre ambos puntos de 169 metros.

Este caudal otorgado se encuentra por sobre el caudal anual medio del río Puelo, que en su desembocadura en el estuario de Reloncaví alcanza los 644 m³/seg (promedio de los registros del período 1943-2003 en la estación Carrera Basilio) y que en los meses de verano (diciembre a marzo) alcanza solo los 531 m³/seg. Es decir, en estos momentos la empresa posee derechos de agua por un caudal mayor al que el ecosistema produce. En relación a lo anterior, también es relevante señalar que la variación estacional del caudal del río Puelo muestra que, en promedio, solo en junio se alcanza un valor por sobre

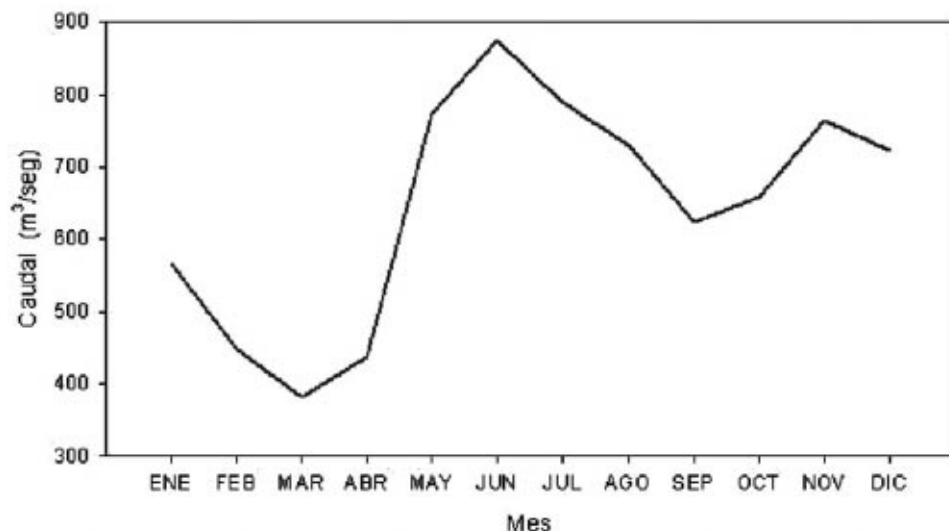
los 850 m³/seg (ver gráfico en este recuadro). Esta diferencia podría incluso verse agudizada a futuro si continúa la clara tendencia a la disminución de este río de los últimos 60 años (Figura 1).

Otro aspecto no considerado y que genera incertidumbre es la variabilidad de este caudal a escalas interanuales (como por ejemplo, la ocurrencia de años de sequía extrema) y seculares. A estos factores se suma el hecho de que cerca del 65% de la cuenca del río Puelo está en Argentina, por lo que la captación de agua para otros proyectos o cambios en el uso del suelo en el vecino país pueden afectar la disponibilidad de este recurso para su utilización en Chile.

Los derechos otorgados a ENDESA para la generación hidroeléctrica en el río Puelo exceden por mucho el caudal promedio anual. Aunque se redujera en un 25% el caudal destinado a la hidroelectricidad, se generarían serios impactos sobre otras actividades económicas de gran relevancia en la zona, tales como la salmicultura en el estuario de Reloncaví, el turismo y la pesca deportiva. Los mayores impactos que se producirían incluirían la disminución drástica del río en un tramo de 1.000 metros, fluctuaciones grandes en el nivel del lago Tagua Tagua debido a la construcción de la represa, y una posible disminución de los caudales en los meses de febrero a abril, cuando son críticos para la salmicultura.

En conclusión, el uso del agua del río Puelo debe considerar la compatibilidad entre los diferentes usuarios, considerando la variabilidad climática y ambiental e integrando la mayor cantidad de información existente. Ello a fin de promover el desarrollo sustentable y equitativo y evitar problemas ambientales, sociales y económicos que se puedan derivar de decisiones inadecuadas.

Figura: Variación estacional del caudal promedio del río Puelo
Fuente: DGA (Dirección General de Aguas).



su conjunto más allá de las fronteras limítrofes entre ambos países.

Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por el Núcleo Científico Milenio FORECOS P04-065-F de MIDEPLAN, el proyecto CRN03 del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) y los proyectos Fondecyt # 1050298 y # 1030766. Dirección General de Aguas e INTESAL (Instituto Tecnológico del Salmón) proporcionaron los datos de caudales y salinidad, respectivamente, y CONAF otorgó el permiso para la colecta de muestras en el Parque Nacional Puyehue.

Referencias bibliográficas

Aceituno, P. (1988) On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review* 116: 505-524.

Arnell, N., C. Liu, R. Compagnucci, L. da Cunha, K. Hanaki, C. Howe, G. Mailu, I. Shiklomanov y E. Stakhiv (2001) Chapter 4. Hydrology and Water Resources. En: *Climate Change 2001. Impacts, adaptation, and vulnerability*. IPCC. Cambridge University Press, pp. 193-233.

Aravena, J. C., A. Lara, A. Wolodarsky-Franke, R. Villalba y E. Cuq (2002) Tree-ring growth patterns and temperature reconstruction from *Nothofagus pumilio* (Fagaceae) forests at the upper tree line of southern Chilean Patagonia. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 361-376.

Cobos, D. y J. Boninsegna (1983) Fluctuations of some glaciers in the upper Atuel River basin, Mendoza, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctica Peninsula* 1: 61-82.

Holmes, R. L., C. W. Stockton y V. C. LaMarche (1979) Extension of river flow records in Argentina from long tree-ring chronologies. *Water Resources Bulletin* 15 (4): 1081-1085.

IPCC (2001) Climate Change 2001. Robert T. Watson. (ed.) *Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. En línea: www.grida.no/climate/ipcc.tar/

Lara, A. y R. Villalba (1993) A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in Southern South America. *Science* 260: 1104-1106.

Lara, A. y R. Villalba (1994) Potencialidad de *Fitzroya cupressoides* para reconstrucciones climáticas durante el Holoceno en Chile y Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 443-451.

Lara, A., J. C. Aravena, A. Wolodarsky, R. Villalba, B. H. Luckman y R. J. S. Wilson (2001) Dendroclimatology of high-elevation *Nothofagus pumilio* forests in the Central Andes of Chile. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 925-936.

Lara, A., D. Soto, J. Armesto, P. Donoso, C. Wernli, L. Nahuelhual y F. Squeo (eds) (2003) Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos Chilenos. Universidad Austral de Chile, Iniciativa Científica Milenio de Mideplan. Valdivia, Chile. 134 pp.

Lara, A., R. Urrutia, R. Villalba, B. H. Luckman, D. Soto, J. C. Aravena, J. Mc Phee, A. Wolodarsky, L. Pezoa y J. León (2005) The potential of tree-rings to reconstruct streamflow and estuarine salinity in the Valdivian Rainforest Eco-region, Chile. *Dendrochronologia* 22 (3): 155-161.

Lara, A., R. Villalba y R. Urrutia (enviado) A 400-year tree-ring record of the Puelo River streamflow in the Valdivian Rainforest eco-region, Chile. Enviado a *Climatic Change*.

León, J. (2005) *Influencia del caudal del río Puelo sobre la salinidad y la concentración de oxígeno disuelto en los primeros metros de la columna de agua del estuario de Reloncaví*. M. Sc. Tesis Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Montecinos, A. y P. Aceituno (2003) Seasonality of the ENSO-related rainfall variability in Central Chile and associated circulation anomalies. *Journal of Climate* 16 (2): 281-296.

Oyarzún, C. E., A. Lara, C. Aracena y P. Rutherford (enviado) Effects on water yield from the conversion of native forests to fast-growing plantations and pastures in the Valdivia Rainforest Eco-region, Chile. Enviado a *Canadian Journal of Hydrology*.

Pezoa, L. S. (2003) Recopilación y análisis de la variación de las temperaturas (período 1965-2001) y las precipitaciones (período 1931-2001) a partir de la información de estaciones meteorológicas de Chile entre los 33° y 53° de latitud sur. Tesis de grado Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile.

Soto, D. y A. Lara (2001) Servicios ecosistémicos de los bosques nativos. En: Primack, R., R. Rozzi, P. Feisinger, R. Dirzo y F. Mazzardo (eds). *Fundamentos de conservación biológica: perspectivas Latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp. 295-297.

Viviroli, D., R. Weingartner y B. Messerli (2003) Assessing the hydrological significance of the world's mountains. *Mountain Research and Development* 23 (1): 32-40.

Dendrocronología: ¿instrumento para la toma de decisiones sobre recursos hídricos?

Comentario de Jack Stern (*) y Wladimir Givovich (**)

(*) Máster en Ciencias de Suelos y Agua, Universidad Hebrea de Jerusalén (Israel). Investigador ONG Aqua. Santiago, Chile. (**)
Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile. Investigador asociado ONG Aqua. Santiago, Chile. E-mail: ngoaqua@entelchile.net

Si consideramos a cada árbol como un instrumento capaz de registrar todos los fenómenos que lo rodean, sin duda la dendrocronología es una ciencia importante en el estudio de eventos climáticos pasados, en la reconstrucción de la historia climatológica del lugar y en el entendimiento del fenómeno del *cambio global del planeta*.

El clima es uno de los factores que más fuertemente afecta el crecimiento de los árboles. En los años en que la cantidad de precipitaciones y las temperaturas son adecuadas el árbol crece relativamente más y el anillo correspondiente será relativamente más ancho. A la inversa, en los años en que el clima es particularmente severo, el árbol crece menos, produciendo anillos estrechos. Si medimos entonces el ancho de los anillos tendremos una representación que mostrará de alguna manera el comportamiento del clima en la zona.

La disponibilidad de agua en las cuencas no es solamente controlada por las precipitaciones, sino que también por la disponibilidad de nieve en las cumbres relativas a las cuencas en estudio. Investigaciones recientes muestran efectivamente una disminución de las precipitaciones medias para vastas regiones del planeta y asimismo muestran una retirada de las nieves a bandas de mayor altura producto del *calentamiento global del planeta*.

Últimos estudios realizados por investigadores de CIPMA y AQUA a través de series de caudales de algunos ríos y esteros en la Zona Centro Norte de Chile, muestran un notable aumento de los caudales invernales sobre la media mensual histórica y una disminución de los

caudales estivales por el prematuro derretimiento de las nieves a causa del aumento de las temperaturas.

Es en este contexto que sería interesante revisar si la dendrocronología integrada con otras ciencias, es un instrumento capaz de mostrar los eventos ocurridos en una misma temporada de crecimiento, para modelar y proyectar la disponibilidad de agua de modo de entregar una metodología que permita a la autoridad política la planificación de los recursos hídricos y la toma oportuna de decisiones. La variación estacional de los recursos hídricos y su tendencia futura es tan importante como la variación anual.

Es de esperar, que el aporte a la comunidad nacional de los distinguidos institutos que han realizado el estudio de dendrocronología y sus científicos asociados, sea utilizado por las autoridades políticas competentes en beneficio de las comunidades rurales y el país como un todo para realizar políticas preventivas, más aún tomando en consideración todas las alertas dadas por instituciones internacionales como la ONU, Banco Mundial, NASA y una gran cantidad de universidades en lo que respecta al cambio climatológico y a la gravísima proyección de escasez de agua dulce en el mundo.

Este conocimiento no debe ser puesto a disposición de la empresa privada para facilitar la privatización, la avaricia y el lucro de las aguas, como así mismo la destrucción de las cuencas y de la biodiversidad.

Como dijo el Mahatma Gandhi: "*La Tierra tiene suficiente (agua) para las necesidades de todos, pero no para la avaricia de unos pocos*".

El aporte de la dendrocronología

Nicolo Gligo Viel

Departamento de Políticas Públicas, Universidad de Chile. E-mail: ngligo@vtr.net

La orientación de la ciencia está condicionada por los paradigmas predominantes en un período dado del transcurso del desarrollo humano. Y no me cabe duda que un paradigma fundamental de la actualidad se refiere a los conflictos de la sociedad con su entorno físico, o, en otras palabras, la problemática ambiental.

Por ello que cuando leí el artículo de Rocío Urrutia, Antonio Lara y Ricardo Villalba reaccioné positivamente y pensé en la importancia de tener en nuestro país científicos que tengan una mirada clara sobre estos paradigmas predominantes. Tanto hemos dicho que eso sólo se alcanza cuando los científicos dejan las torres de marfil que los aíslan y salen a embarrarse las manos y a purificar el espíritu en la mirada de lo cotidiano, como me consta que ellos lo hacen.

Algunos profesionales, empresarios, funcionarios, que más que legos, aparecen como ignorantes letrados, plantean que la pérdida del bosque nativo es compensada en el país por las plantaciones forestales, echando por la borda las importantes e irremplazables funciones del bosque nativo.

Y una de ellas, fundamental, es la capacidad de retención, regulación, y purificación de nuestras aguas. No se reemplaza un ecosistema forestal por un silvo sistema de plantaciones. Nada tiene que ver, a pesar de la insistencia mediática de los interesados en la sustitución.

Por ello que la dendrocronología viene a poner orden en función de sus aportes científicos, que le permiten estudiar el comportamiento de los caudales que se generan en las cuencas con bosques nativos y predecir qué pasará en el futuro si seguimos con nuestra irracional política de sustitución y deterioro.

Los desafíos de los autores son grandes, pues deben desarrollar sistemáticos y representativos estudios, no exentos de complicaciones estadísticas, derivadas de sus correlaciones y representatividades.

Pero por fin podemos mirar con optimismo un futuro en que las simulaciones, proyecciones y previsiones se cimentarán en aportes científicos serios derivados de la dendrocronología.