

Cooperación interinstitucional para desarrollar un nuevo enfoque hidrológico forestal para apoyar la silvicultura sostenible en Chile

Inter-institutional cooperation to develop a new forest hydrological approach to support sustainable forestry in Chile

Francisco Balocchi ^{a,b,*}, José Luis Arumí ^{b,c}, Andrés Iroumé ^d

*Autor de correspondencia: ^a Bioforest SA, Ecosistema, Productividad y Cambio Climático, camino a Coronel s/n km 15, Coronel, Chile, francisco.balocchi@arauco.com/frabalocchi@udec.cl

^b Universidad de Concepción, Programa de Doctorado en Recursos Hídricos y Energía para la Agricultura, Chillán, Chile.

^c Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Recursos Hídricos, Centro FONDAP CRHIAM, avenida Vicente Méndez 595, Chillán, Chile.

^d Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Valdivia, Chile.

SUMMARY

There are more than 4 billion hectares of forests in the world, which corresponds to 31 % of the surface of our planet. In Chile, 17 million ha of forests cover the country where more than 3 million correspond to plantations. The role of vegetation cover in the dynamics of precipitation, in the generation of runoff and in the protection and conservation of degraded land is known. This cover plays an important role in the hydrological cycle and its balance, especially in the north central zone to the south. A new impulse is required in research, both from the Government and the private sector, as well as reformation to public policies, thus articulating research in forest hydrology with an imperative sense of integrality. Therefore, this document presents a proposal for the development of research in forest hydrology with an integral and decentralization approach. Highly capable scientific human capital in Chile, organized in geographically defined nuclei, would be capable of answering relevant research questions in forest hydrology that would support public policies based on scientific evidence. All this, under the auspices of a technical integrating entity to allow a fluid conversation and discussion of the actors of the forestry sector, both in research matters and in the generation of public policies from an integral and multidisciplinary perspective at the catchment level.

Keywords: water resources, plantations, native forest, stakeholders, forest hydrology.

RESUMEN

Las más de 4 mil millones de hectáreas de bosques en el mundo corresponden al 31 % de la superficie planetaria. Chile posee 17 millones de hectáreas de bosques y más de 3 millones corresponden a plantaciones. El rol de la cobertura vegetal en la dinámica de la precipitación y en la generación de escorrentía, y en la protección y conservación de suelos degradados, es conocido. Esta cobertura juega un papel importante en el ciclo hidrológico y su balance, especialmente desde la zona centro norte al sur. Se requiere de un nuevo impulso en las investigaciones, tanto desde el Estado como del sector privado, así como la reforma de las políticas públicas, articulando las investigaciones en hidrología forestal con un imperativo sentido de integralidad. Este documento presenta una propuesta de desarrollo de la investigación en hidrología forestal con un enfoque de integralidad y descentralización, cuyo sustento es la alta capacidad del capital humano científico en Chile, que organizándose en núcleos definidos geográficamente sería capaz de responder las principales preguntas de investigación en hidrología forestal para sustentar políticas públicas basadas en evidencia científica. Todo esto, bajo el alero de un ente integrador técnico que permita una conversación y discusión fluida de los actores del sector forestal, tanto en materias de investigación como en la generación de políticas públicas, desde una mirada integral y multidisciplinaria a nivel cuenca.

Palabras clave: recursos hídricos, plantaciones, bosque nativo, tomadores de decisión, hidrología forestal.

INTRODUCCIÓN

Las primeras cuencas experimentales establecidas para estudiar el efecto del bosque en la hidrología se implementaron a comienzos del 1850 (Andreassian 2004), debido a la observación de que el bosque podía modificar el clima, y

con ello el caudal. Luego de décadas de investigación, esta preocupación sigue vigente, ya que no solo es necesario saber cómo el bosque influye en el caudal, sino que también es necesario saber cuánto y cómo condiciones entre cuencas, clima, y diferentes tipos de bosque y su manejo afectan los cambios (e.g. Pinchot 1905). A lo anterior se suma la

dinámica del cambio global (cambios en el uso del suelo, agua y clima), que se ha acelerado en las últimas décadas y que crecientemente estresa los procesos hidrológicos, que obliga a una visión a largo plazo en cuanto a mediciones en campo y con ello la ciencia detrás para su análisis. Los efectos del cambio climático en la hidrología pueden alterar el retorno financiero de plantaciones, pero principalmente la escasez de agua que impactaría a las comunidades locales.

En Chile, la primera mención del efecto de los bosques y las lluvias se encuentra en una Carta que Lord Cochrane envió a Bernardo O'Higgins en 1820 luego de liberar Valdivia. Pero, los estudios relacionados con la hidrología forestal comienzan en el siglo XX (Cabaña-Chávez *et al.* 2013) y desde entonces se han intensificado (Jones *et al.* 2016). Posteriormente, Jones *et al.* (1975) publican el primer artículo científico que presenta y discute el caudal de tres cuencas pequeñas en Chile Central. La época de mayor productividad científica fue el año 2021 con 13 estudios relacionados con la producción de agua y plantaciones, y producción de sedimentos desde cuencas forestales. Se suman a lo anterior los esfuerzos de la Unidad de Cuencas de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) con el plan de ordenación de cuencas en Magallanes en 1974, los proyectos CONAF-JICA, CONAF-DF-ID (modelo SHERTRAN), y algunas cuencas experimentales de mediados de 1995 (Cabaña-Chávez *et al.* 2013). Estos estudios fueron financiados principalmente por programas de las Naciones Unidas como la FAO, PNUD y CEPAL, y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), además del apoyo de organizaciones nacionales como la Dirección General de Aguas (DGA) y la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), y organizaciones internacionales como la German Technical Cooperation, la Overseas Development Agency de Gran Bretaña.

A pesar de que el sector forestal es la segunda actividad económica más importante en Chile, que aporta 4,9 mil millones de pesos al PIB y con 3,1 millones de hectáreas plantadas entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos (INFOR 2021), no existe financiamiento público o líneas de investigación ligadas directamente con la hidrología forestal. El Instituto Forestal (INFOR), institución de investigación dependiente del Ministerio de Agricultura y su programa Agua y Bosque, es la única institución que aborda la hidrología forestal desde lo público, no universitario.

Uno de los pocos ejemplos de concursos orientados al sector forestal es el Fondo de Investigación por el Bosque Nativo (FIBN) de la CONAF. Con montos bajos y plazos acotados, que no permiten mantener proyectos de largo plazo como son los estudios hidrológicos. Otros programas nacionales como el Fondo de Financiamiento de Centros de Investigación en Áreas Prioritarias (FONDAP) y Centros I+D de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) apuntan a otras actividades productivas como la agricultura y la minería, pero no han incluido el sector forestal. Es posible que esto se deba a que la cobertura forestal no necesita de derechos de aguas, por lo

tanto, desde la mirada nacional, deja de ser atractivo, a pesar de la influencia de los bosques en el ciclo hidrológico. Además, sería importante incluir al sector forestal, porque influye en otros servicios ecosistémicos y, por lo tanto, puede incidir en la sostenibilidad de los territorios y sus conflictos sociales.

Al no existir un fondo público específico, desde la necesidad de conocer el efecto de las plantaciones en el ciclo hidrológico y también desde los requerimientos de las certificaciones forestales, el sector privado ha financiado programas de investigación. Por ejemplo, Forestal Arauco a través de Bioforest, posee una red de 16 cuencas experimentales entre las regiones del Maule y de Los Ríos, en donde algunas de ellas se monitorean desde el año 2008 (Balocchi *et al.* 2021). Forestal Mininco posee 18 cuencas experimentales localizadas en las comunas de Nacimiento, Los Ángeles, y Coronel. Algunas de estas cuencas se monitorean desde el año 2008 y se encuentran principalmente cubiertas con plantaciones forestales (*e.g.* Iroumé *et al.* 2021). Finalmente, MASISA inició el año 2008 el monitoreo de 6 cuencas forestales, programa que actualmente se ha discontinuado. Desde el sector privado, la información recogida se debería compartir, analizar y evaluar con el fin de generar una discusión compartida aunando esfuerzos con la comunidad, la academia, el sector privado, y el Estado.

Ha existido una fragmentación de estudios en el país, con diferentes objetivos y no se ha buscado complementariedad y/o sinergias entre las instituciones. Además, la inversión estatal en investigación en hidrología forestal no posee un correlato con la importancia del sector. Si bien en el año 2017-2018 la entonces Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT, hoy la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile, ANID) definió entre sus ejes estratégicos al área de los recursos hídricos como prioritarios, una búsqueda en su base de datos (ANID, 2021) utilizando palabras claves como hidrología, erosión, uso de suelo, recursos hídricos, sedimentos, cambio de uso, plantaciones, pino insigne y eucalipto, arrojó que entre el 2001 y 2019 se adjudicaron 32 proyectos asociados a estas palabras clave de un total de 23.383 proyectos aprobados (se incluyeron todos los instrumentos CONICYT/ANID). Sin embargo, el plazo de estos proyectos es acotado, generando la necesidad de aumentar el horizonte con el fin de recolectar la mayor cantidad de información y variabilidad del sitio en estudio y evaluar el efecto del cambio climático a largo plazo (Garreaud *et al.* 2020).

La relevancia del sector forestal en nuestro país con respecto a la producción y conservación de agua para consumo humano es poco conocida o desestimada. Un análisis realizado con la ubicación de las captaciones de Agua Potable Rural (APR) en las regiones de la Araucanía y Los Lagos (información solicitada por la Ley 20285 de Acceso a la Información Pública) sobrepuestas sobre el mapa de usos de Zhao *et al.* (2016) de 287 captaciones (superficiales y subterráneas), determinó que el 41 % de las ubicaciones de APR se encuentra en cuencas con algún

uso con cobertura vegetal no agrícola (matorral, bosque nativo, plantaciones y praderas). Otro ejemplo de lo anterior es el de Forestal Arauco, que mantiene en sus predios alrededor de 1.200 captaciones y estructuras anexas (879 de estas captaciones son superficiales) distribuidas en su patrimonio, abasteciendo alrededor de 630.000 personas y donde es la propia empresa que facilita su gobernanza. Forestal Mininco, por otro lado, administran 352 bocatomas a lo largo de su patrimonio. Aun así, el sector forestal no está considerado en las discusiones de políticas públicas, y participa de forma esporádica y no activamente de las acciones gubernamentales, a pesar de su disponibilidad para integrarse a estas discusiones. Por ejemplo, Nuñez (2004) estimó un valor entre \$11 - \$25 el m³ de agua desde la cuenca de Llancahue, en Valdivia, cubierta principalmente de bosque nativo, lo que se traduce en \$74.971 - \$170.389 por ha de bosque nativo. Por otro lado, en muy pocas de las diversas mesas del agua existentes participan representantes del sector forestal. Un caso de lo anterior es la Mesa Nacional del Agua (MOP 2019), en donde no participa el sector forestal a pesar de la importancia, rol e influencia de la cobertura vegetal en el ciclo hidrológico. Tampoco participan miembros de la sociedad civil relacionados con el recurso hídrico, ni universidades o centros de excelencia, encontrándose una alta participación de gremios productivos principalmente ligados al sector agrícola (*e.g.* Juntas de Vigilancia). Entonces, existe una desconexión de la ciencia (revisada por pares) desde el sector forestal con el Estado e incluso desde la misma ciencia con el sector.

Se debe destacar el capital humano presente en el país con investigadores altamente capacitados. Esta capacidad abre la posibilidad de lograr mayor eficacia y eficiencia en el impacto de la ciencia. Hoy existe una serie de temáticas similares abordadas por diferentes universidades o centros de investigación, pero es poco común que se aúnen esfuerzos relacionados con la hidrología forestal.

El sector forestal público y privado tiene un rol relevante en la adaptación al cambio climático, la provisión de agua y otros múltiples servicios ecosistémicos en Chile. Si bien por ahora, no hay conflictos entre usuarios con derechos de aguas, desde la protección del suelo y de los recursos hídricos, los servicios ecosistémicos y lo social, hacen sumamente relevante que el sector sea parte de las discusiones y de las políticas públicas. Así, es necesario que este sector participe activamente y con investigaciones diseñadas para construir una agenda efectiva de políticas públicas.

La preocupación por parte de las comunidades sobre la provisión de agua y el cambio climático, la apertura de actores clave (*i.e.* privados), un cambio de gobierno, y el desarrollo de importantes investigaciones parecen hacer de este un momento crítico para abordar los problemas del agua y su relación con la cobertura vegetal en Chile. Por ejemplo, lo reportado por Pizarro *et al.* (2022) en grandes cuencas donde el uso mixto de cobertura vegetal (bosque nativo y plantaciones) parece ser una alternativa viable frente al cambio climático, o que, en un ejercicio de

modelación, las diferencias entre caudales de escenarios de bosque nativo pristino y plantaciones son mínimas (Gimeno *et al.* 2022).

Todos estos factores mencionados abren la necesidad y oportunidad para un nuevo enfoque hidrológico forestal. La situación es muy adecuada para adoptar un enfoque de gestión adaptativa con la participación de todos los sectores: ciencia, industria, gobierno, comunidades y organizaciones no gubernamentales.

PROPUESTA DE UNA INVESTIGACIÓN DESCENTRALIZADA Y COOPERATIVA

Dada la experiencia de la hidrología forestal nacional, se hace necesario hacer ciencia coordinada, aprovechando el capital humano avanzado presente en universidades, centros de investigación y el sector privado. Existen sitios de estudio en Chile en donde se puede hacer investigación multidisciplinaria y con ello aportar a la discusión del efecto de la cobertura vegetal sobre los recursos hídricos. Sin embargo, esto conlleva a un compromiso tanto de los investigadores como del Estado, por cuanto estos estudios son de largo plazo y necesitan financiamiento. Un ejemplo interesante es la red de bosques y cuencas experimentales establecidos por Estados Unidos (EE. UU.) en los primeros años del siglo XX, donde desde los años 1930s se han realizado múltiples experimentos a largo plazo y a escala de cuencas para analizar y evaluar los efectos de diversas prácticas forestales en la hidrología (Lugo *et al.* 2006, Adams *et al.* 2008). Desde 1980, los bosques experimentales del Servicio Forestal han recibido financiamiento del programa LTER de la National Science Foundation de los EE. UU. (Lugo *et al.* 2006), lo que permitió agregar estudios detallados de clima, suelo y cambios de vegetación y sus efectos (Peters *et al.* 2011), disponibles a la sociedad (USDA-FS 2021).

En Chile, dado que existen variadas cuencas en estudio, una red de cooperación interinstitucional formal parece ser una buena estrategia (ejemplos de éxito en EE. UU. se describen en Driscoll *et al.* 2012 y Swanson *et al.* 2021). Esta red concentraría a los investigadores que se encuentran cercanos a los sitios de estudio, descentralizando las investigaciones en determinadas universidades, pero sin perder la cooperación. Además, esto permitiría centralizar el rescate de datos hidrológicos en una única plataforma con el fin de globalizar datos y estudios, como lo es, por ejemplo, la red experimental de cuencas del United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service (Goodrich *et al.* 2021). Luego, sería posible extender el conocimiento generado para aportar a la creación de políticas públicas y nuevos programas de investigación. Esta red, sumado a la ya reconocida experiencia de la ciencia chilena, creemos que pueden promover nuevos bríos en la investigación hidrológica nacional. Para ello, debiese existir un foco inicial en (i) cantidad de agua y su relación con las diferentes coberturas y (ii)

calidad de agua como punto de partida, desde una mirada multidisciplinaria. Esto permitiría obtener resultados no solo para políticas públicas, sino que para la comunidad y sector privado, con el fin de garantizar un balance con respecto a la captura de carbono, provisión de agua y de productos forestales (*i.e.* pulpa).

Sin embargo, es necesario crear un ente integrador técnico que permita una conversación y discusión fluida de los actores del sector forestal, tanto en materias de investigación como en la generación de políticas públicas desde una mirada integral y multidisciplinaria a nivel de cuenca. Su mayor foco sería la investigación en el sector forestal, por lo tanto, debiera depender del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Este ente debería ser capaz de traducir los resultados de la investigación a recomendaciones o incentivar la discusión informada de futuras políticas públicas. Un caso similar, que puede ser un ejemplo, es el Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology establecido en Australia en los años noventa y cuyo fin fue crear un sistema de apoyo para decisiones en la hidrología con foco en la cuenca. Además de la creación de este ente, se debería crear un consejo consultivo integrado por los usuarios del agua, es decir, sociedad civil, empresas sanitarias, empresas forestales, universidades y el Estado, a través de la ANID o de la CORFO, y de los diferentes estamentos públicos que tienen relación con los recursos hídricos.

El financiamiento debería venir de variadas fuentes, pero principalmente desde el sector público. Actualmente, el sector privado posee líneas propias de investigación en hidrología forestal autofinanciadas. Por lo tanto, debería existir una interacción entre financiamiento público (desde la ANID o desde CORFO) con el fin de evitar la duplicidad de esfuerzos.

CONCLUSIONES

Existe en Chile una capacidad instalada de investigadores de alto nivel. Sin embargo, la investigación no tiene una guía clara del Estado, por lo que es difícil aportar a la discusión de políticas públicas sin un eje nacional definido. Tampoco se visualiza una estrategia desde los investigadores que ayude al Estado a definir materias específicas para un territorio sustentable. Así, se presenta una recomendación de acción para poder incentivar el apoyo del Estado a la investigación ligada a la hidrología forestal, además de una estrategia con respecto a cómo se pueden desenvolver espacialmente las diferentes instituciones, sin perder la cooperación interinstitucional. Creemos que esto es posible hacerlo en Chile con (i) la formalización de experimentos a largo plazo en las empresas forestales y grupos públicos y privados con patrimonio para estudiar la interacción de las coberturas vegetales en el ciclo hidrológico, con (ii) la capacidad para diseñar e implementar proyectos de investigación con el apoyo de la academia en conjunto con el sector privado, la comunidad (entregando herramientas y educando con respecto al rol

de la cobertura vegetal), el Estado (ANID) y las ONGs, y (iii) el Estado, el cual tiene la capacidad de promulgar leyes basadas en los resultados de cooperación aquí propuestos. Esto conlleva a la creación de un ente integrador de las investigaciones que sea capaz de comunicarse con la academia y los tomadores de decisión para una gobernanza del agua integrada e informada.

AGRADECIMIENTOS

A la ANID por la Beca ANID-PFCHA/Doctorado Nacional/2021-21210861 y ANID/FONDAP/15130015. A los dos revisores anónimos, por sus aportes que ayudaron a mejorar el presente documento.

REFERENCIAS

- Adams MB, L Loughry, L Plaugher. 2008. Experimental Forests and Ranges of the USDA Forest Service. United States Department of Agriculture Forest Service. Northeastern Research Station. General Technical Report NE-321 Revised. Newtown Square, Pennsylvania, USA. 178 p. DOI: <https://doi.org/10.2737/NE-GTR-321>.
- Andréassian V. 2004. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of hydrology* 291(1-2): 1-27.
- ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, CL). Repositorio ANID GITHUB. Consultado may. 2021. Disponible en <https://github.com/ANID-GITHUB>.
- Balocchi F, DA White, RP Silberstein, P Ramírez de Arellano. 2021. Forestal Arauco experimental research catchments; daily rainfall-runoff for 10 catchments with different forest types in Central-Southern Chile. *Hydrological Processes* 35(4): e14047. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.14047>.
- Cabaña Chávez C, M Benavides Silva, N Pizarro Núñez. 2013. CONAF su historia y rol en el desarrollo forestal y ambiental de Chile, 1972-2013. Santiago, Chile. CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 382 p.
- Driscoll CT, KF Lambert, FS Chapin III, DJ Nowak, TA Spies, FJ Swanson, DB Kittredge, CM Hart. 2012. Science and society: The role of long-term studies in environmental stewardship. *BioScience* 62(4): 354-366.
- Garreaud RD, JP Boisier, R Rondanelli, A Montecinos, HH Sepúlveda, D Veloso-Aguila. 2020. The Central Chile mega drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology* 40(1): 421-439. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6219>
- Goodrich DC, P Heilman, M Anderson, C Baffaut, J Bonta, D Bosch, R Bryant, M Cosh, D Endale, TL Veith, SC Havens, A Hedrick, PJ Kleinman, EJ Langendoen, G McCarty, T Moorman, D Marks, F Pierson, JR Rigby, H Schomberg, P Starks, J Steiner, T Strickland, T Tsegaye. 2021. The USDA-ARS Experimental Watershed Network: Evolution, Lessons Learned, Societal Benefits, and Moving Forward. *Water Resources Research* 57(2): e2019WR026473. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019WR026473>
- INFOR (Instituto Forestal, CL). 2021. Anuario Forestal 2021. 274 p. (Boletín Estadístico N°180).
- Jones J, A Almeida, F Cisneros, A Iroumé, E Jobbágy, A Lara, W de Paula Lima, C Little, C Llerena, L Silveira, JC Villegas.

2016. Forests and water in South America. *Hydrological Processes* 31(5): 972-980. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.11035>
- Jones M, PF Ffolliott, WO Rasmussen. 1975. Precipitation & Streamflow on 3 Small Chilean Watersheds. *Progressive Agriculture in Arizona* 27(1): 13-16.
- Lugo AE, FJ Swanson, OR González, MB Adams, B Palik, RE Thill, DG Brockway, C Kern, R Woodsmith, R Musselman, 2006. Long-term research at the USDA Forest Service's experimental forests and ranges. *BioScience* 56(1): 39-48.
- MOP (Ministerio de Obras Públicas, CL). 2019. Mesa Nacional del Agua. Santiago, Chile. Consultado 13 sept. 2022. Disponible en <https://www.mop.cl/MesaAgua/index.html>
- Núñez D. 2004. Valoración económica del servicio ecosistémico de producción de agua del bosque de la cuenca de Llancahue, Décima Región. Tesis Magíster en Desarrollo Rural. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Austral de Chile. 182 p.
- Peters DP, AE Lugo, FS Chapin III, ST Pickett, M Duniway, AV Rocha, FJ Swanson, C Laney, J Jones. 2011. Cross-system comparisons elucidate disturbance complexities and generalities. *Ecosphere* 2(7): 1-26.
- Pinchot G. 1905. A primer of forestry. Washington, DC. Bureau of Forestry, United States Department of Agriculture, Government Printing Office. 48 p. (Bulletin N°24).
- Pizarro R, R Valdés-Pineda, PA Garcia-Chevesich, A Ibáñez, J Pino, DF Scott, DG Neary, JE McCray, M Castillo, P Ubilla. 2022. The large-scale effect of forest cover on long-term streamflow variations in mediterranean catchments of central Chile. *Sustainability* 14(8): 4443. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084443>
- Swanson FJ, DR Foster, CT Driscoll, JR Thompson, LE Rustad. 2021. How LTER Site Communities Can Address Major Environmental Challenges. The Challenges of Long Term. *Ecological Research: A Historical Analysis* 59: 223-241.
- USDA-FS (United States Department of Agriculture, UU. EE.). 2021. Experimental Forests and Ranges. Consultado may. 2021. Disponible en <https://www.fs.usda.gov/research/forestsandranges>.
- Zhao Y, D Feng, L Yu, X Wang, Y Chen, Y Bai, HJ Hernández, M Galleguillos, C Estades, GS Biging, P Gong. 2016. Detailed dynamic land cover mapping of Chile: Accuracy improvement by integrating multi-temporal data. *Remote Sensing of Environment* 183: 170-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.016>

Recibido: 22.05.21
Aceptado: 01.07.22

