

Escasez de agua en Chiloé: Red Participativa de Agua como solución para el sector rural¹

Water shortage in Chiloé: Participatory Water Network as a solution for the rural sector

Cristián Frêne² , Fernanda Villarroel³, Rolando Rojas⁴, Javier Sanzana⁵,
Jorge, González⁶, Diela Alarcón⁷, Fernando, Gómez⁸ y Scarlett, Barra⁹

RESUMEN

En los últimos años el Archipiélago de Chiloé sufre crisis hídricas estivales, a pesar de las intensas lluvias de invierno. La situación ha sido reconocida por el Estado y los gobiernos de turno, adoptando como principal medida la provisión de agua para uso humano en camiones aljibe. Para enfrentar este problema se propuso un trabajo a escala territorial local, realizando un diagnóstico socio-ecológico de la localidad rural de Catruman para evaluar la demanda de agua y las causas de la escasez hídrica. Se identificaron microcuencas abastecedoras de agua y se estableció un trabajo participativo, que incluye a habitantes y gobiernos locales, basado en los principios del manejo ecosistémico adaptativo. Se diseñó una Red Participativa de Agua Rural, que incluye una planificación territorial participativa a escala de microcuenca, monitoreo hidrológico, una red de distribución de agua potable de bajo costo y un humedal artificial depurador de aguas contaminadas. Se realizaron asambleas, capacitaciones y mingas, reconociendo e integrando el saber local. Esta iniciativa es un modelo de intervención territorial de largo plazo, a escala de microcuenca, flexible, escalable y replicable en otros territorios del sur de Chile.

Palabras clave: Gestión local del agua, gestión integrada de cuencas, planificación territorial participativa.

ABSTRACT

In recent years, the Chiloe Archipelago has suffered summer water scarcity, despite heavy winter rains. The situation has been recognized by the governments on duty, adopting as the main measure the provision of water for human use in cistern trucks. To face this problem, this work proposed a territorial level intervention, which include a socio-ecological diagnosis of the rural locality of Catruman. The diagnosis assessed the local water demand and scarcity causes. Based on the principles of adaptive ecosystem management and with a participatory territorial planning approach, including both inhabitants

¹ Proyecto ANID/BASAL FB210006.

² IEB-Chile, Instituto de Ecología y Biodiversidad. Correo electrónico: cfrene@bio.puc.cl

³ Universidad de Los Lagos, Sede Ancud, Chiloé. Correo electrónico: luzvillarroelbloomfield@gmail.com

⁴ Investigador independiente. Correo electrónico: rolando.gap@gmail.com

⁵ Investigador independiente. Correo electrónico: javier.sanzana.chaura@gmail.com

⁶ Investigador independiente. Correo electrónico: jagm255@gmail.com

⁷ Investigadora independiente. Correo electrónico: necesitamoslatierra@gmail.com

⁸ Investigador independiente. Correo electrónico: fernandodanilogomez@gmail.com

⁹ IEB-Chile, Instituto de Ecología y Biodiversidad. Correo electrónico: scarlett25@gmail.com

and local governments, we identified catchments that potentially can provide water and designed a Participatory Network of Rural Drinking Water, including a management plan for the water supply catchment, hydrological monitoring, a low-cost network of distribution of drinking water and, the creation of an artificial wetland for water depuration. Participatory work with the community was carried out through assemblies, training and '*mingas*', emphasizing local knowledge. This initiative is a long-term model of territorial intervention at catchment scale, flexible, scalable and replicable in other territories of southern Chile.

Keywords: Local water management, integrated watershed management, participatory territorial planning.

Introducción

Chile enfrenta una escasez hídrica estival que podría explicarse por diversos factores, principalmente por una mega sequía (Garreaud et al., 2017; 2019), el cambio de uso de suelo (CONAF, 2018) que genera un detrimento en la función ecosistémica de regulación hídrica (Farley et al., 2005; Brown et al., 2005; Díaz et al., 2007; Germer et al., 2010; Frêne et al., 2020) y el marco normativo (Bauer, 2015; Newenko, 2019; Barría et al., 2019). El Estado ha dictado 106 decretos de escasez hídrica entre 2008 y 2018, ha declarado 14 decretos de agotamiento de ríos y 152 áreas de restricción hídrica, principalmente en la zona centro (Newenko, 2019). Un 47,2% de la población rural no cuenta con acceso a agua potable a través de redes de distribución formales (Amulen-PUC, 2019), lo que se relaciona directamente con la pobreza multidimensional reportada en CASEN (2015). De las 347 comunas de Chile, 194 (55,9%) cumplen con ambos criterios: mayor índice de pobreza multidimensional y una mayor proporción de población con carencia de agua potable que el promedio nacional (CASEN, 2015; Amulen-PUC, 2019). El 84,7% de las viviendas multidimensionalmente pobres se abastece de agua a través de pozos, ríos, lagos o esteros, y la calidad del agua que usan es desconocida y no está garantizada por el Estado (Amulen-PUC, 2019).

En el sur de Chile, la Región de Los Lagos presenta problemas crecientes de escasez hídrica en el sector rural, aumentando la cantidad de afectados desde 18.164 personas el año 2013, hasta las 60.088 personas en 2016; el gasto del Estado aumentó de \$42,9 millones de pesos en 2013 hasta \$3.629,4 millones el año 2016 (ONEMI, 2017). En la Provincia de Chiloé los programas de emergencia estatal entregaron en 2016 agua a 18.916 personas de localidades rurales, con un costo superior a los \$800 millones de pesos (ONEMI, 2017). La comuna más afectada por esta crisis hídrica fue Ancud con 9.000 personas abastecidas y \$278,8 millones de pesos de gasto estatal.

Este mecanismo de emergencia suministra agua en camiones aljibe a la población rural y no cumple con los estándares de la Organización Mundial de la Salud referidos a acceso y suficiencia (Howard y Bartram, 2003), mientras la calidad del agua entregada es desconocida de acuerdo a parámetros químicos y biológicos exigidos internacionalmente (Fewtrell y Bartram, 2001). Además, en la mayoría de las viviendas del sector rural no existe tratamiento de aguas grises y negras, siendo habitual el pozo negro como medio de eliminación de desechos líquidos y sólidos desde los hogares (CASEN, 2015), que es considerado una fuente potencial de contaminación de gran riesgo para la salud humana (Fewtrell y Bartram, 2001). La situación descrita se agrava cada verano y los pronósticos de disminución de precipitaciones para el siglo XXI son categóricos para la zona sur de Chile (Fuenzalida et al., 2007; Garreaud et al., 2017).

Los principales ecosistemas terrestres de la Provincia de Chiloé son bosques siempreverdes, agroecosistemas y humedales; el 69% de la Provincia se encuentra cubierta por bosques, un 26% de la superficie corresponde a praderas antropogénicas y matorrales secundarios (agroecosistemas y pomponales), mientras el 2% corresponde a turberas (CONAF y UACH, 2013). Las tendencias de cambio de uso del suelo entre los años 1998 y 2013 muestran que se perdieron 10.268 hectáreas de bosque nativo por acción del fuego, tala y deforestación, principalmente bosque antiguo (CONAF y UACH, 2013), que son los que tienen la mayor capacidad de almacenar el agua de las precipitaciones (Frêne et al., 2020). La mayor parte de estos ecosistemas forestales han sido sobreexplotados en el Archipiélago de Chiloé desde hace varias décadas (Echeverría et al., 2007; CONAF y UACH, 2013), generando un detrimento de las funciones de almacenamiento y regulación hídrica (Brown et al., 2005; Díaz et al., 2007; Germer et al., 2010; Frêne et al., 2020).

Por otra parte, la tenencia de la tierra que predomina en la Provincia de Chiloé es el minifundio. En particular para la comuna de Ancud, el 84% de las propiedades tiene menos de 60 hectáreas (17 há en promedio; Benra & Nahuelhual, 2019), lo que determina una alta fragmentación del paisaje (Echeverría et al., 2007) y la sobreexplotación de las unidades prediales multifuncionales, que combinan la cría de ganado (en promedio 6 vacas y 14 ovejas) en praderas antropogénicas generalmente degradadas, la extracción de madera nativa y el monocultivo de vegetales como papa y ajo (Carmona & Nahuelhual, 2012). Las coberturas de suelo predominantes en las pequeñas propiedades son praderas (44% del total de superficie) y bosques nativos (35%); de estos últimos un 68,6% de la superficie corresponde a bosques secundarios, que a menudo se encuentran degradados por la cosecha forestal sin criterios de manejo adecuados (Benra & Nahuelhual, 2019). Se suma en los últimos años el auge de las parcelaciones, que subdivide predios pequeños para venta de parcelas de agrado (0,4-0,7 há), acrecentando la atomización de la propiedad, promoviendo la sustitución y degradación de bosque nativo por la construcción de obras civiles (e.g. caminos y viviendas), además de aumentar la demanda de agua y provocar contaminación por aguas grises y negras no tratadas.

En este contexto nos preguntamos, ¿cuáles son los principales factores que inciden en el abastecimiento de agua para consumo humano en el sector rural chilote? Además, ¿cómo podemos promover sistemas socio-ecológico resilientes para asegurar el buen vivir de la población rural? Nuestra hipótesis es que en el Archipiélago de Chiloé el acceso a agua de calidad y en cantidad adecuada para uso humano, está determinada fundamentalmente por la forma en que se gestionan los ecosistemas que almacenan agua, en el contexto de asentamientos humanos rurales y sus hábitos de subsistencia y productivos. Los factores que afectarían de manera directa o indirecta el suministro hídrico son: i) las variaciones estacionales, interanuales y de largo plazo de las precipitaciones; ii) la capacidad de las cuencas para almacenar agua, que está dada por el tipo de ecosistema y la infraestructura humana; iii) la exposición del agua a contaminantes antropogénicos durante su recorrido por las cuencas (escorrentía superficial, sub-superficial y subterránea); iv) la capacidad de los sistemas ecológicos y humanos de filtrar y purificar el agua y; v) una gestión hídrica ineficiente ligada a una normativa que no promueve la sostenibilidad. En consecuencia, la extracción, uso y contaminación del agua (superficial y subterránea) por actividades productivas y habitacionales, junto con la extracción de biomasa vegetal (madera, turba, pompón, entre otros), son elementos antropogénicos claves que pueden ser modelados para conservar la regulación hídrica en microcuencas hidrográficas abastecedoras de agua.

El objetivo general de este estudio interdisciplinar fue desarrollar un proceso de gestión integrada del territorio rural de Catrumán, ubicado en la comuna de Ancud, enfocado en las microcuencas abastecedoras de agua. Los objetivos específicos fueron: i) desarrollar un diagnóstico socio-ecológico del territorio, ii) identificar y priorizar microcuencas con potencial de abastecimiento de agua para uso humano, iii) proponer e implementar medidas innovadoras de abastecimiento de agua, manejo y protección de ecosistemas, para recuperar la capacidad de regulación hídrica de las microcuencas, y iv) fortalecer las capacidades de los habitantes del territorio, servicios públicos y agentes de apoyo al desarrollo rural, para entender y buscar solución a los problemas de abastecimiento de agua.

Materiales y métodos

Área de estudio

La comuna de Ancud se encuentra ubicada en el sector norte de la Provincia de Chiloé. Cuenta con una superficie terrestre de 1.752 km², equivalentes a un 19% de la superficie provincial y un 2,6% de la superficie regional. La zona corresponde al distrito bioclimático de la Zona Sur Austral, con un clima templado lluvioso con influencia mediterránea, sin meses secos, aunque en verano se presenta un descenso de las precipitaciones sin llegar a originar una estación seca (Uribe et al., 2012). La precipitación media anual es de 2.210 mm en los últimos 15 años, siendo junio el mes más lluvioso con una precipitación media de 347 mm; el mes con menor precipitación corresponde a febrero con una lluvia promedio de 81,6 mm. La temperatura promedio anual es 10,5°C, con mínimas promedio de 7°C en julio y máximas de 14°C en enero.

La localidad rural de Catrumán se ubica en el sector norponiente de la Isla Grande de Chiloé, en la Península de Lacuy (figura N°1). Esta localidad rural no tiene límites político administrativos definidos, pero se estima una superficie cercana a 800 hectáreas.

Este trabajo se desarrolló en un periodo de casi tres años (septiembre 2016 a mayo 2019), considerando el marco conceptual de sistemas socio-ecológicos, que entiende los entramados sociales y ecológicos como entes dinámicos y complejos que interactúan entre sí, por lo que solo pueden ser entendidos y evaluados en sus interacciones (Ostrom, 2009; Collins et al., 2011). Se utiliza el enfoque de manejo integrado de cuencas hidrográficas (Naiman et al., 1998; FAO, 2007; Frêne y Oyarzún, 2014), que promueve el empoderamiento a los habitantes para lograr un suministro de agua autogestionado, ayudando a la sostenibilidad del territorio.

Métodos

La metodología de trabajo corresponde al Modelo de Investigación-Acción Participante (IAP), proceso que tiene como objetivo generar y difundir el conocimiento necesario para entender los problemas del territorio y determinar soluciones socialmente aceptables (Villasante, 2003; FAO, 2007). Esta metodología tiene como fin generar procesos de cambio y de transformación social desde la base. La IAP ordena-organiza un conjunto de técnicas y las orienta en un sentido democratizador, que implica involucrar a los actores locales en el proceso de diagnóstico y toma de decisiones en su territorio (Villasante, 2003). En el análisis participativo los habitantes se convierten

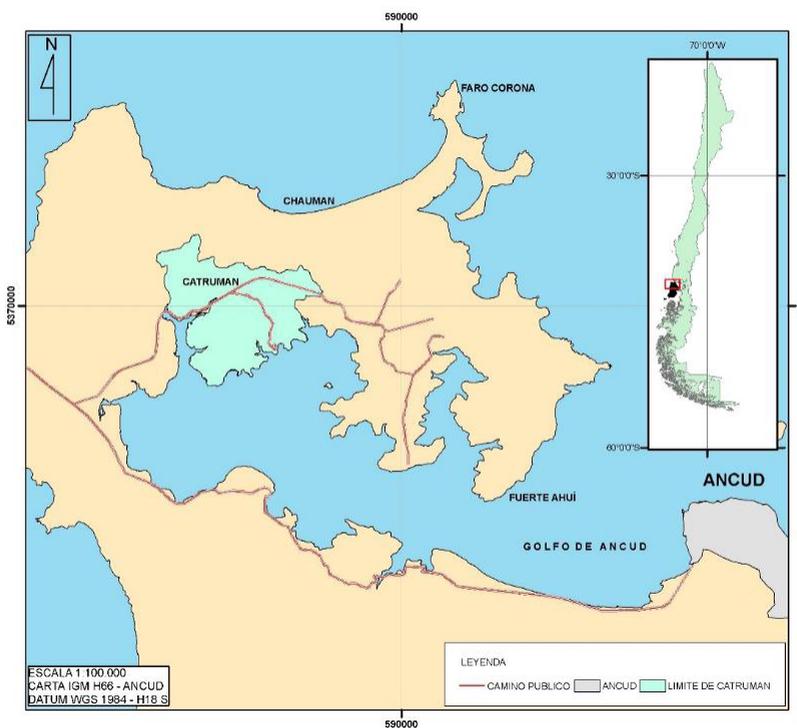
en los protagonistas del proceso de construcción del conocimiento, la detección de problemas y necesidades y la elaboración de propuestas y soluciones (Naiman et al., 1998; FAO, 2007). La premisa es que quienes habitan el territorio poseen pleno conocimiento del entorno socio-ecológico en el que se mueven y pueden generar cambios.

Para recopilar información secundaria del territorio (antecedentes económicos, sociales, culturales, entre otros), se dispuso de información entregada por la Gobernación Provincial de Chiloé y otras instituciones locales (Municipio, servicios públicos, etc.), complementándose con datos disponibles en otras fuentes bibliográficas públicas.

En octubre del año 2016 se llevó a cabo una encuesta estructurada aplicada a cada familia de Catrumán, que permitió conocer variables geográficas, demográficas, etáreas, productivas y otras relacionadas con la escasez de agua en el sector, además de estimar la demanda de agua a escala territorial. Esta información cuantitativa fue complementada con la caracterización cualitativa de los sistemas productivos y dinámicas socioculturales, a través de entrevistas semi-estructuradas y talleres educativos abiertos a la comunidad. El diagnóstico del estado y uso de los ecosistemas generado fue validado en asambleas abiertas a toda la comunidad de Catrumán, utilizando técnicas de educación popular en el marco de la IAP (Villasante, 2003; FAO, 2007). Los beneficiarios directos del proyecto son considerados como el universo muestral y el grupo control son las personas que no recibieron los beneficios del proyecto.

Figura N°1.

Plano de ubicación de la localidad de Catrumán



Fuente: Elaboración propia.

Se elaboró un Mapa de Actores Claves (MAC), análisis de interacciones sociales en un territorio que permite comprender la dinámica social, articulaciones y relaciones que existen en él, destacando quienes habitan y quienes tienen influencia o hacen uso del territorio.

Se realizó un análisis de precipitaciones a partir de los datos de la estación meteorológica Ancud de la Dirección General de Aguas, considerando una serie temporal de los últimos 20 años. Se analizó el patrón de precipitación anual en base a la precipitación mensual de cada año y posteriormente se realizó un análisis de tendencias anual y del periodo estival.

En el territorio se identificaron, a través de georeferenciación con GPS, las fuentes actuales de abastecimiento de agua para consumo humano y fuentes potenciales, así como las casas y pozos sépticos. Se delimitaron las microcuencas que comprenden el territorio de Catrumán con un modelo de elevación digital y se constataron en terreno las líneas divisorias de agua con GPS, elaborando la cartografía base con el software ArcGIS®, incluyendo redes hidrográficas, límites de cuencas, coberturas del suelo, curvas de nivel, entre otras.

En cuanto al uso actual de suelo se realizó una evaluación en terreno. Para el caso de los bosques se realizó una descripción cualitativa, considerando aspectos como composición, estructura y cercanía a cursos de agua. Además, para cada uso de suelo se evaluaron aquellos factores que podrían incidir en la calidad y cantidad de agua a escala de microcuenca (Frêne y Oyarzún, 2014). Con esta información, sumado a reuniones de trabajo sostenidas con cada familia del sector, se discutió y diseñó las acciones a considerar en un plan de ordenación de la microcuenca, utilizando la metodología de ordenación predial participativa (Gastó et al., 2002; Bucher y Gascón, 2003).

Se ejecutó un programa de capacitación teórico-práctico sobre buenas prácticas de manejo, dirigido a toda la comunidad de Catrumán, paralelo a la ejecución del plan de ordenación de la microcuenca, para fortalecer conocimientos y capacidades junto con generar aprendizajes a través de aprender-haciendo (FAO, 2007). Las temáticas abordadas fueron ordenación y planificación territorial, red de agua potable, humedales artificiales, manejo agrícola y forestal con criterios ecológicos. Además, se ejecutó un programa piloto de capacitación teórico-práctica a funcionarios públicos del Municipio y de servicios de apoyo al desarrollo rural (INDAP, CONAF y SAG), de planificación territorial estratégica y tecnologías para el uso eficiente del agua.

Durante la ejecución del proyecto se implementó un plan de comunicación y difusión de la iniciativa, que abarcó 3 ejes de acción: comunicación interna y externa y difusión en general, para optimizar el flujo de información entre el equipo ejecutor y los habitantes de Catrumán, dar a conocer el proyecto y sus resultados a nivel local, regional y nacional, para establecer alianzas y generar interés en replicar el modelo de trabajo.

Resultados y Discusión

Diagnostico socio-ecológico: atributos sociales

Catrumán tiene una densidad poblacional de 0,13 hab/km², por lo que califica como localidad rural dispersa. La tenencia de la tierra es de 10,8 há por familia en promedio. Viven 104 personas,

48 mujeres y 56 hombres; la religión principal es la católica y posee un componente indígena-huilliche (dos comunidades indígenas). Presenta una población envejecida, ya que más del 50% de la población tiene sobre 30 años de edad (Cuadro N°1). Las principales actividades económicas son agricultura (68%), recolección de orilla (7%), buceo (7%) y producción de queso (4%), además de pensionados (11%). Las prácticas productivas que sustentan estas actividades económicas son, en orden de importancia, la ganadería intensiva y extensiva de vacunos y ovinos, el cultivo de papas y ajo, la pesca y buceo en embarcación y la recolección de orilla (extracción de pelillo, luga y mariscos en menor medida), siendo minoritario el manejo de bosque para venta de leña. En la mayoría de los casos se complementan los oficios, ya que no hay una única fuente de ingresos, por lo que una misma familia puede desarrollar diferentes actividades económicas. Además, existen actividades de subsistencia, como el cultivo de hortalizas en huertas e invernaderos, la producción de leña y la pesca, todas orientadas al autoconsumo.

Cuadro N°1:

Número de personas por grupo etáreo.

Grupo etáreo	Número de personas
0-18 años	18
19-29 años	21
30-65 años	46
65 años o más	19

Fuente: Elaboración propia.

La avanzada edad de la población (Cuadro N°1) determina una carencia de mano de obra para las faenas productivas y se explica por la migración juvenil hacia las ciudades (por trabajo o estudios). En las últimas dos décadas se ha hecho relevante la venta de terrenos a personas foráneas, que disminuye la cantidad de mano de obra para trabajar la tierra, así como el capital social, los usos consuetudinarios asociados a la tierra y el mar, entre otros. La disminución del trabajo colaborativo (mingas), el apoyo asistencialista de los organismos del Estado y la limitada vinculación a mercados locales para venta de sus productos, determinan una agricultura acotada al consumo familiar y la venta local de productos.

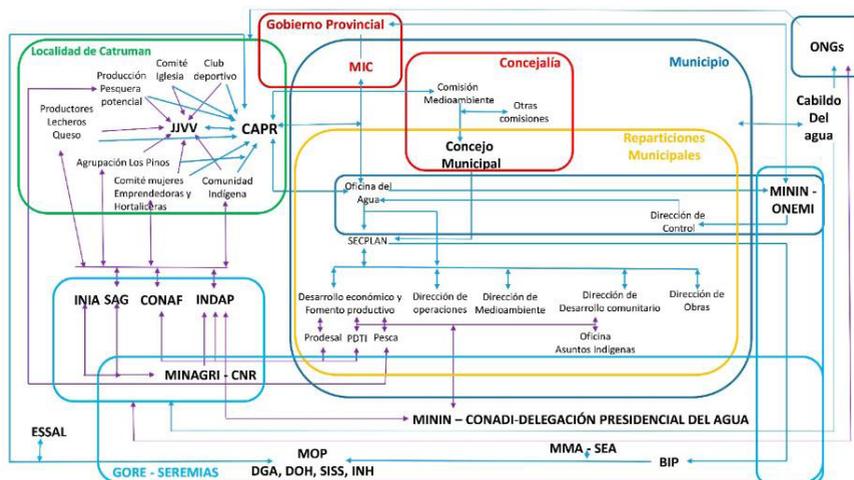
Antes de iniciar la intervención se constata que existe una alta dependencia de las familias a los camiones aljibe para abastecerse de agua (>40% del total de familias), lo que limita las actividades debido a que una comunidad eminentemente agrícola depende del agua disponible, y por tanto el déficit hídrico estival merma la actividad productiva.

Los beneficiarios directos de esta intervención son 14 familias y el centro cívico (iglesia, cementerio, recinto deportivo y sede de vecinal), por lo que los resultados se extienden a todos los habitantes de la localidad de Catrumán.

En un proceso de gestión local del agua deben existir instancias de coordinación con los agentes externos al territorio, como el sector público, privado y la sociedad civil. El MAC de Catrumán (Figura N°2) se enfoca en la incidencia de actores en el tema agua, donde los más relevantes son:

- Gobierno Central y local: organismos del Estado como el Gobierno Regional y Provincial, Municipio de Ancud y Concejalías, además de las Secretarías Regionales Ministeriales (SEREMI) de Agricultura (INDAP, CNR, CONAF), Medioambiente (SEA), Obras Públicas (DGA, DOH), Interior (CONADI) y SUBDERE. En el sector actualmente trabaja de manera directa y permanente INDAP, a través de alianzas con el Municipio en los programas PDTI y PRODESAL, además de CONADI.
- Sociedad Civil: Junta de Vecinos (JJVV) de Catrumán y Comité de Agua Potable Rural de Catrumán. Además, existen organizaciones como comunidades indígenas (Lauken Mapu y Huillimó), dos grupos de hortaliceras, un club deportivo de fútbol, una agrupación de la Iglesia católica, un comité de mujeres emprendedoras y la agrupación Los Pinos.

Figura N°2.
Mapa de Actores Clave.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al proceso organizativo, se constataron deficiencias en el funcionamiento orgánico de la JJVV y la necesidad de los beneficiarios directos de coordinarse y resolver desafíos propios de la implementación del proyecto. Por esto decidieron crear una organización funcional, la Agrupación Los Pinos, que resultó expedito por el marco normativo vigente de organizaciones sociales (Leyes 18.893 y 20.500 y Decreto 58) e hizo posible su formalización y organización, permitiendo definir y delimitar responsabilidades. La participación de esta Agrupación fue constante y decisora para el éxito del proyecto, porque entendieron la necesidad de organizarse y trabajar en colectivo, funcionando de forma similar a un Comité de Agua Potable Rural, que se encarga del manejo y mantenimiento de la red de agua potable en el largo plazo. Además, esta forma de organización les permitió relacionarse de manera directa con los agentes externos, evitando la burocracia y dispersión temática propia de la dinámica de la JJVV.

Diagnóstico socio-ecológico: atributos ecológicos

Las precipitaciones en el sector norte de la Isla de Chiloé superan los 2.200 mm anuales en promedio para los últimos 20 años, y a pesar de tener variaciones interanuales no se registra una

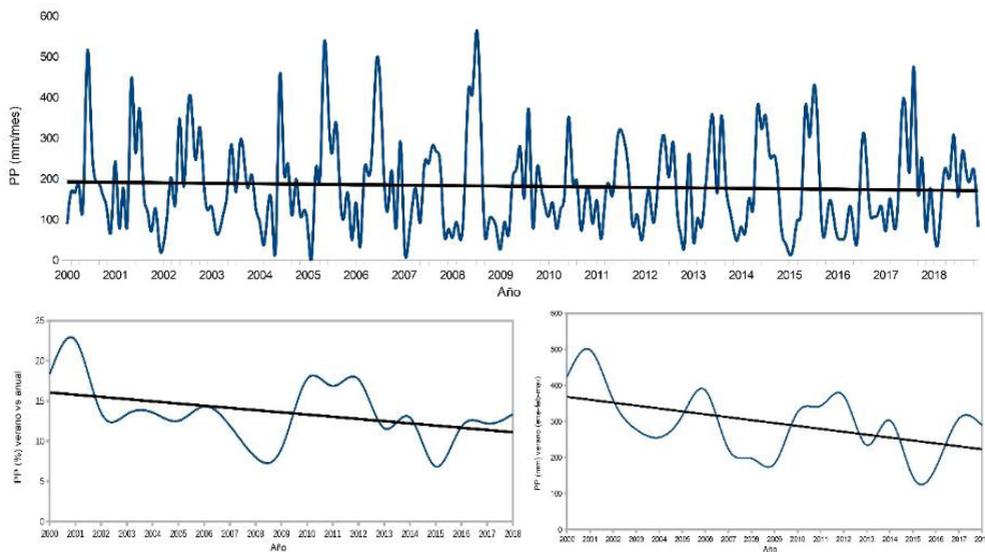
tendencia de cambio significativa (figura N°3). Sin embargo, al analizar las precipitaciones de verano se observa una tendencia a la disminución tanto en términos absolutos (figura N°3a) como relativos en relación al total de agua caída durante el año (figura N°3b).

En Catrumán existe un total de 36 microcuencas (figura N°4), en su mayoría de pequeño tamaño (<50 hectáreas). Estas microcuencas dan origen a una serie de cursos de agua que tienen flujos preferentemente sub-superficiales. Es común observar cursos de agua superficial que se secan durante el verano (hasta 4 meses) y vuelven a fluir al inicio del nuevo ciclo anual de lluvias que se concentra en invierno (figura N°3).

Los suelos de la Península de Lacuy tienen su génesis en cenizas volcánicas recientes (tru-maos) y corresponden a la serie Mechaico (CIREN 2003), que es una de las series de más antiguo uso agropecuario en la Isla Grande. Esta serie se caracteriza por tener una textura franco arenosa fina, con drenaje moderado a bueno y una profundidad media de unos 80 cm aproximadamente (moderadamente profundos), que ocupan terrazas altas, antiguas, donde los procesos de erosión geológica les han dado la apariencia de lomajes, con pendientes abruptas, generalmente entre 30 y 50%. Los suelos de la Península de Lacuy están clasificados según CIREN (2003) con capacidades de uso que oscilan entre las clases III y VIII.

Figura N°3.

Precipitaciones de los últimos 20 años en la comuna de Ancud. a) Tendencia de precipitaciones, b) Tendencia de precipitaciones de verano absoluta (mm) y relativa (%) respecto a precipitación total.



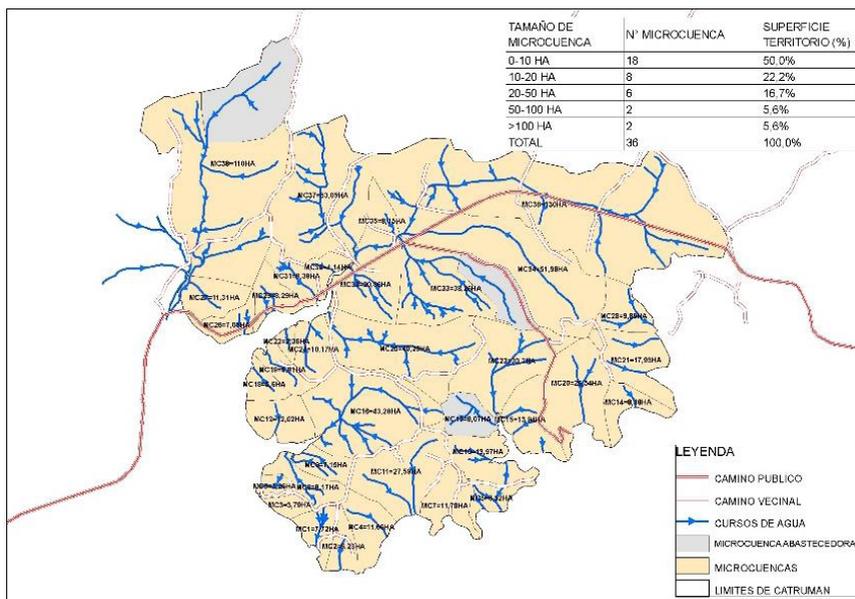
Fuente: Elaboración propia en base a registros de estación climática Ancud DGA.

El subsuelo de la Península de Lacuy está formado por rocas sedimentarias marinas profundas del miembro superior de la Formación Lacui, de edad Mioceno inferior a medio, con dominancia de rocas consolidadas de grano fino (Antinao et al., 2000). Están dispuestas en estratos centimétricos a métricos, cortadas por fallas geológicas, inclinadas y ligeramente plegadas con ejes en distintas direcciones. Destaca una inclinación hacia el NW en el sector norte y hacia el SE en el sector sur del área de estudio (Antinao et al., 2000).

En términos hidrogeológicos, la composición geológica observada en terreno implica una baja porosidad intrínseca de la roca, pero que aumenta al considerar las fracturas, contactos entre los estratos y fallas geológicas. Los contactos entre los estratos (planos de estratificación) son importantes en el flujo de agua subterránea, dado que cada pocos centímetros hay un plano continuo e inclinado. Por lo tanto, a pesar de la baja porosidad y permeabilidad de la roca, la cantidad innumerable de superficies de contacto es la que facilita el flujo de agua bajo el suelo y le otorga una porosidad secundaria, determinando acuíferos libres, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica (Custodio & Llamas 1983). En su conjunto, estas características permiten inferir el sentido de flujo de agua y explican las diversas vertientes que afloran en el territorio de Catrumán, que se encuentran a diferentes altitudes y en algunos casos entregan un caudal reducido pero continuo durante el año.

Figura N°4:

Microcuencas en Catrumán. En color gris se destacan las microcuencas seleccionadas para la RPA



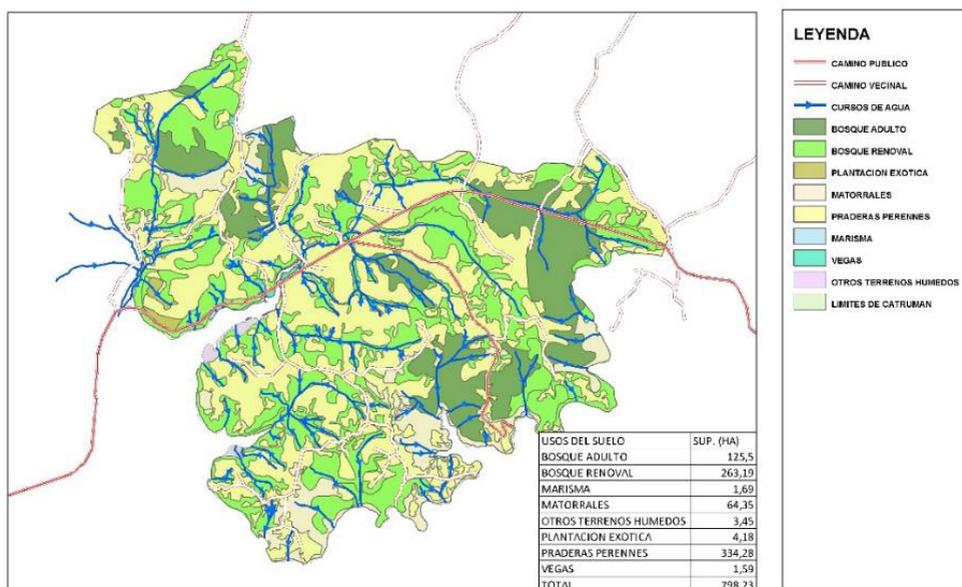
Fuente: Elaboración propia.

El paisaje actual de Catrumán está determinado en gran medida por la historia reciente de intervención humana, moldeada por las condiciones climáticas y características del suelo, determinando una matriz agropecuaria donde se insertan remanentes del bosque original (figura N°5). En términos de superficie, la cobertura de bosques domina (48% del total de la superficie), seguido por praderas (42%) y matorrales (8%, figura N°5).

Según la tipología forestal (Donoso 1981), los bosques corresponden al Tipo Forestal Siempreverde, subtipos Renovales de Canelo e Intolerantes Emergentes. Las especies arbóreas más frecuentes son canelo (*Drimys winteri*), ulmo (*Eucryphia cordifolia*), luma (*Amomyrtus luma*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*). Es relevante señalar que la gran mayoría de los bosques son utilizados como "galpones naturales" para el resguardo del ganado ovino y bovino, lo cual trae efectos negativos en el establecimiento y desarrollo de la regeneración natural (Zamorano-Elgueta et al.

2014). El bosque en su mayoría se encuentra degradado y relegado a zonas de mayor pendiente y sólo un 15% de la cobertura corresponde a bosques adultos, mientras 33% corresponde a bosques de segundo crecimiento (renovales, figura N° 5).

Figura N°5:
Cobertura de suelo en Catrumán.



Fuente: Elaboración propia.

La agricultura de Catrumán no difiere de lo que ocurre en toda la provincia de Chiloé, basándose en pocos productos comercializados: papas, ajo chilote en superficies de $\frac{1}{4}$ hasta $\frac{1}{2}$ hectárea, que se han mantenido en rotación pasando de cultivo de papas a pradera, dejando “descansar” el suelo por varios años. A esto se suma una producción agrícola en huertas caseras e invernaderos, con hortalizas como zanahoria, habas, arvejas, grosella, orégano, nabos, betarragas y coles, además de quintas de frutales como manzanos con escaso o nulo manejo, orientados principalmente a la producción de chicha artesanal y alimentación de porcinos para autoconsumo. El déficit de lluvias en época estival podría reducir la productividad en cultivos de exterior, que históricamente no han sido regados. Existen pocos invernaderos promovidos por organismos del Estado, donde se cultivan hortalizas menos resistentes a heladas como lechugas, cilantro y acelgas, que dependen del riego y en las últimas temporadas han sido abandonados casi en su totalidad por la falta de agua.

La ganadería está concentrada en la producción bovina y ovina extensiva, en las praderas de cada familia o arriendos de talaje por temporada. En general no se realiza manejo de rotación animal y el agua para bebida animal se obtiene directamente en los cauces al interior de predios propios o de vecinos, provocando contaminación biológica y física de cauces superficiales. La tenencia de bovinos es mayoritaria, con un promedio de 7 unidades animales (UA) por familia (cuadro N°2), orientada a la lechería (producción de quesos) y venta de carne local. Luego sigue

la tenencia de ovinos (6 UA por familia en promedio), porcinos (2 UA por familia en promedio) y aves (18 en promedio por familia).

Si consideramos que en promedio la superficie predial no alcanza las 11 hectáreas, es esperable que la capacidad de carga del sistema esté al límite o en algunos casos sobrepasada. Esto porque en promedio para estos suelos una UA de bovino requiere 1 hectárea, y 10 UA de ovinos requieren 1 hectárea (Gastó et al. 2018). Por otro lado, el agua de camiones aljibe tiene la restricción de uso exclusivo para el consumo humano, de esta forma la producción rural se ha visto afectada tanto en los cultivos como en la tenencia animal.

A modo de síntesis sobre los efectos de las prácticas productivas en la disponibilidad de agua, la eliminación histórica de bosques para la agricultura en pendientes pronunciadas, sumado al talaje de animales en áreas de alta pendiente y las siembras con camellones a favor de la pendiente, tiene como resultado erosión del suelo y pérdida de nutrientes en laderas de cerros y, probablemente, contaminación de los cauces por fertilizantes sintéticos y tránsito animal. En su conjunto, estas prácticas han generado una pérdida de la capacidad de retención de agua de los suelos y un deterioro de la calidad del agua.

Necesidades de agua

El uso del agua en Catrumán está determinado por la disponibilidad de fuentes de agua y las actividades productivas. Actualmente la mayoría de las familias cuenta con alguna fuente de agua, ya sea esporádica o continua, que corresponde a vertientes, pozos o arroyos, que se ubican a una distancia variable de la casa (figura N°6) y en general debe ser impulsada desde la fuente de origen hacia la casa, siendo la motobomba eléctrica el equipo más utilizado.

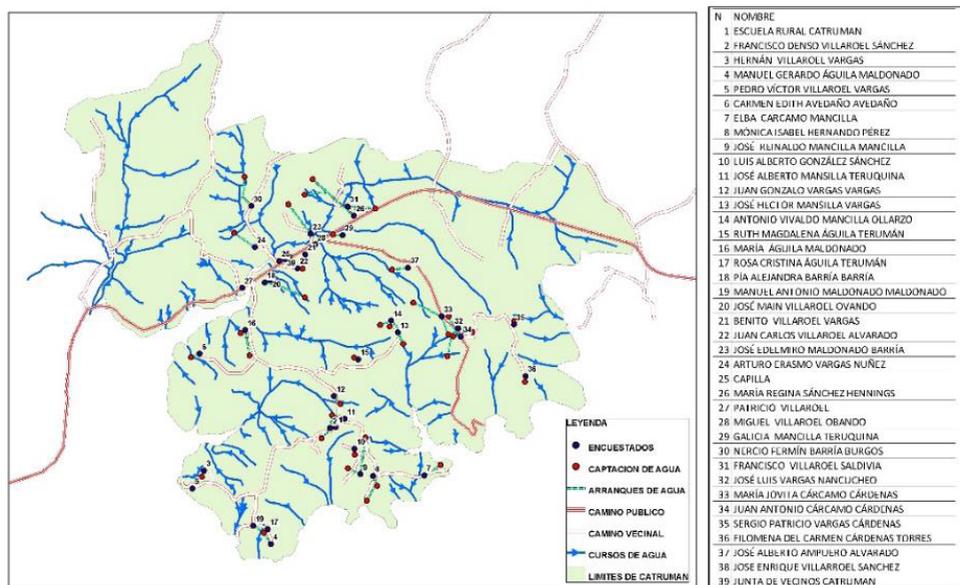
La identificación y caracterización de las fuentes de agua presentes en el territorio permite afirmar que existe disponibilidad de agua pero no se conoce su calidad, cuestión que debe ser abordada en el futuro.

En general el uso de agua por familia varía en función de la tenencia animal y el número de habitantes por vivienda. Los mayores consumos de agua corresponden al uso doméstico y el ganado bovino, seguido de lejos por los ovinos, el riego del invernadero (para abastecimiento familiar en su mayoría) y la huerta. La necesidad diaria de agua por familia puede alcanzar en promedio los 600 litros (cuadro N°2), sin considerar lo utilizado en el riego de invernaderos y huertas. Esta cantidad puede variar según la estación del año, el tamaño predial y las especies.

Con esta información se estimó una necesidad diaria de agua para la comunidad de Catrumán de al menos 20.000 litros. Si agregamos a este volumen el riego para invernaderos y huertas, se podría llegar fácilmente a un volumen cercano a los 25.000 litros diarios de agua para uso humano durante el verano. En invierno estos requerimientos deberían bajar entre un 30 y 40%, considerando que no se requiere riego y que el ganado consume una menor cantidad de agua.

La mayoría de los habitantes indica que la escasez estival de agua se inicia el año 2013. El abastecimiento de agua por camiones aljibe es la solución propuesta por el Estado para hacer frente a estas crisis episódicas, pero no logra los estándares de cantidad y calidad de agua propuestos

Figura N°6:
Ubicación de casas y fuentes de agua en Catrumán.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N°2:

Requerimientos diarios de agua (litros/día) por familia para la ganadería y uso doméstico en Catrumán.

Item	Ovinos	Aves	Bovinos	Porcinos	Equinos	Habitantes por vivienda	Necesidad de agua total (litros)
Existencia promedio por familia (unidades)	5,9	17,6	7,4	2,0	0,1	2,9	
Necesidad diaria de agua promedio por unidad (litros) ³⁸	11	0,15	45	15	30	50	
Necesidad diaria de agua	64,7	2,6	334,3	30,4	2,6	148,6	583,2

Fuente: Elaboración propia.

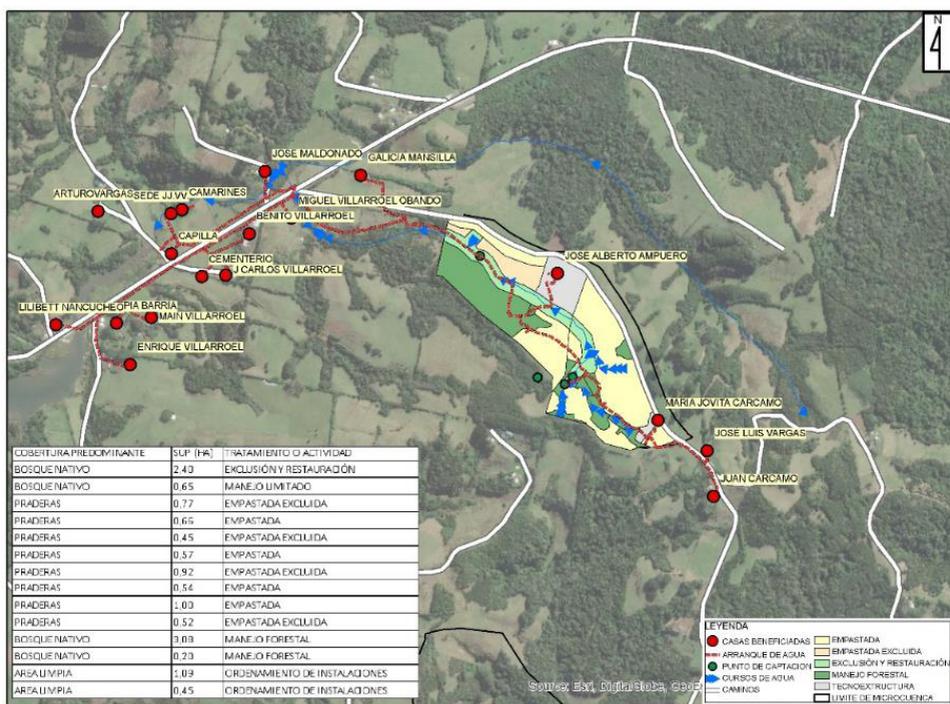
por la OMS (Howard y Bartram, 2003). Antes de iniciada la intervención, el 64% de las familias se abastecía (total o parcialmente) de camiones aljibe y existía una dependencia total del camión aljibe de 37% de las familias, por un periodo de al menos 6 meses al año. El camión aljibe tiene una capacidad de 10.000 litros y transitaba por la localidad una vez a la semana, entregando agua en estanques comunes (uno de 5.000 y otro de 10.000 litros) o en casas particulares en volúmenes variables de acuerdo a la capacidad de almacenar agua. Esto genera tres problemas: i) inequidad en el acceso al agua, pues no se aplican criterios de vulnerabilidad familiar para repartir el agua; ii) la calidad del agua que se almacena en estanques y contenedores sin el tratamiento adecuado, lo que puede generar problemas de salud graves para la población y, iii) cantidad de agua insu-

ficiente para cubrir las necesidades básicas de las personas (bebida, alimentación e higiene), ya que de acuerdo a los registros del Municipio de Ancud entre diciembre de 2014 y abril de 2015 se entregaron 9 litros por persona al día en la localidad de Catruman. Esta situación cambió a partir del año 2018, ya que el Decreto Supremo 41 determinó que la entrega de agua por camiones aljibe debería ser de 50 L por persona al día, lo que se cumple parcialmente.

Red Participativa de Agua

La solución propuesta al problema de desabastecimiento de agua es la Red Participativa de Agua Potable Rural (RPA), que integra todos los problemas diagnosticados y comprende la implementación de un sistema de abastecimiento de agua para uso humano con tres elementos fundamentales (figura N°7): un plan de ordenación territorial para la protección de la microcuenca abastecedora de agua, monitoreo hidrológico y una red de distribución de agua. En Catruman se seleccionó una fuente de agua (figura N°3), identificada por los habitantes locales como un arroyo de flujo permanente durante todo el año.

Figura N°7:
Plan de ordenación de microcuenca y red de agua de la RPA.



Fuente: Elaboración propia.

La metodología de IAP relevó el conocimiento local tradicional y lo complementó con el conocimiento técnico y científico. Para la elaboración del plan de ordenación se analizó de manera integral el origen, disponibilidad y uso del agua, así como los distintos usos del suelo al interior de la microcuenca y sus repercusiones en la cantidad y calidad del agua. Todas estas acciones y técnicas estuvieron avaladas por la comunidad local, que colaboró desde el inicio y durante todo el desarrollo de la intervención.

El plan de ordenación de la microcuenca abastecedora de agua consideró una serie de acciones para cada uno de los usos del suelo presentes en la microcuenca, priorizadas en el tiempo (figura N°7), con la finalidad de mejorar en el mediano plazo la calidad y cantidad de agua (cuadro N°3) que recibe la red de distribución. Algunos ejemplos de estas medidas son la construcción de cercos para la protección ribereña aguas arriba de la bocatoma, la instalación de bebederos para mantener a los animales alejados de los cursos de agua y la implementación de prácticas de conservación de suelos (zanjas de infiltración, plantación de especies nativas para la protección y estabilización de suelos, entre otras). Además, se construyó un humedal artificial con el apoyo de la empresa privada BIOANTU, para depurar las aguas grises y negras que emanaban de la casa y quesería cercanas a la toma de agua.

Cuadro N°3:

Acciones propuestas en el plan de ordenación de la microcuenca abastecedora de agua

Uso actual del suelo	Acciones de ordenación propuestas	Efectos sobre la calidad y cantidad de agua
Cursos de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Cercado de zona ribereña en una faja de 20 metros desde el curso de agua. • Restauración de zona ribereña a través de plantación. • Implementación de bebederos para ganado lejos del curso de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora calidad de agua al evitar contaminación fecal y sedimentos. • Aumenta cobertura de vegetación ribereña • Protección del lecho y canal del arroyo que mantiene el régimen hidrológico.
Pradera	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de densidad animal a la capacidad de carga óptima. • Cambio en el manejo de la fertilidad de la pradera. • Implementación de zanjas de infiltración en sectores con mayores pendientes. • Instalación de riego artesanal. • Plantación en curva de nivel de arbustos multipropósito, para complementar dieta ganadera, nuevos productos y recuperar suelos degradados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora calidad de agua por disminución de transporte de sedimentos en zonas con pendiente, provocado por el tránsito animal, erosión hídrica y eólica. • Mejora en la estructura del suelo y aumento de la capacidad de infiltrar y almacenar agua en el suelo, para mejorar disponibilidad de agua en periodo estival • Mejora de la calidad del agua evitar contaminación por fertilizantes inorgánicos.
Matorral	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo para avanzar hacia cobertura de bosque nativo. • Implementación de zanjas de infiltración en sectores con mayores pendientes. • Implementación de microterrazas en laderas de alta pendiente y cárcavas. • Cultivo en microterrazas para aumentar fertilidad de suelo y productividad. • Plantación de arbustos multipropósito en curvas de nivel, en zonas con pendiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora calidad de agua por disminución en transporte de sedimentos por erosión hídrica desde laderas a curso de agua. • Mayor disponibilidad de agua en verano, por mejora en almacenamiento de agua edáfica. • Disminución de flujo superficial en laderas en época invernal. • Mejora en propiedades físicas y biológicas del suelo, aumentando fertilidad y capacidad de almacenar agua.
Bosque nativo	<ul style="list-style-type: none"> • Cercado perimetral, especialmente en zonas riparianas. • Aplicación de buenas prácticas de manejo (p.e. raleos de restauración). • Enriquecimiento en zonas de bosque degradado. • Reforestación de áreas ribereñas donde el bosque nativo fue sustituido por praderas o matorrales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en cantidad de agua, por efecto del bosque en la regulación hídrica. • Aumenta la regulación de crecidas ante eventos extremos de precipitación. • Mejora calidad de agua por disminución en transporte de sedimentos y lixiviación de nutrientes. • Aumenta capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

Fuente: Elaboración propia.

La ejecución de las actividades del plan se cumplió parcialmente, en sectores prioritarios de la microcuenca, dado el costo de inversión que se requiere para su implementación (M\$50 aprox.). Es importante señalar que existen escasos instrumentos estatales que puedan cubrir estos costos, entre los que destacan el Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los

Suelos Agropecuarios (SIRSD-S), que administra INDAP y SAG, y la Ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, administrada por CONAF.

El monitoreo hidrológico consta de un pluviógrafo ubicado a campo abierto, dentro de la microcuenca, y una estación limnimétrica instalada en la caja del arroyo, que mide el caudal antes de la bocatoma de la red de distribución. Esto permite mantener un registro continuo en el tiempo de las entradas y salidas de agua. El caudal mínimo registrado es de 0,4 L/s (medido a fines de verano de 2017), que entrega un caudal diario disponible de 34.500 litros, otorgando una capacidad máxima de abastecimiento de agua para 58 familias.

La red de distribución de agua inicia en una bocatoma construida en la caja del arroyo, que la conduce hasta un sistema de filtros y una estación de almacenamiento de 25.000 litros. Esta RPA abastece a un total de 14 familias (figura N°7) y al centro cívico (Iglesia, club deportivo, sede social y cementerio), lo que en total significa una demanda máxima diaria de aproximadamente 10.000 litros de agua. Es decir, la disponibilidad de agua en la bocatoma de la red equivale a más de tres veces la necesidad de agua, lo que implica un rebalse de dos tercios del caudal mínimo registrado en la temporada estival, asegurando un caudal ecológico para la mantención del ecosistema aguas abajo de la bocatoma.

El financiamiento para implementar esta iniciativa no superó los M\$200 y se obtuvo de distintos actores públicos y privados: i) la Gobernación Provincial de Chiloé, que licitó un proyecto denominado "Manejo integrado de microcuencas abastecedoras de agua en la provincia de Chiloé", financiado por el Programa de Mitigación de Riesgos 2016 del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, que fue adjudicado y ejecutado por el Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB); ii) el Municipio de Ancud que licitó dos proyectos, uno para la compra de materiales y otro para la instalación de la red de agua y; iii) un proyecto presentado al Programa Prototipos de Innovación Social 2018 de CORFO, denominado "Red participativa de agua potable en una localidad rural de Chiloé, con énfasis en el manejo de microcuencas e implementación de sistema de manejo de aguas residuales mediante procesos naturales". Además, se trabajó con el sector privado a través de la empresa BIOANTU, especializada en el diseño y construcción de humedales artificiales depuradores de agua, y hubo aportes en mano de obra y materiales de todas las familias beneficiadas con la RPA.

Para lograr una implementación efectiva de la intervención se tuvo especial consideración con los elementos formales para relacionarse con los agentes externos y potenciales financistas. En particular, el marco jurídico-administrativo para la gestión del agua fue considerado a través de la solicitud de derechos de aprovechamiento de agua consuntivo a la autoridad competente (DGA) y la firma de acuerdos entre la Agrupación Los Pinos y los propietarios de los predios donde se construyó la infraestructura para captación, almacenamiento y distribución del agua. Por otra parte, la normativa vial representó una limitación al considerarse el atravesado de la red de distribución de agua por caminos públicos, lo que debió ser considerado en la etapa de diseño e implementación, además de solicitar los permisos correspondientes a la autoridad competente (MOP). Para las labores de mantención y reparación de la red, la Agrupación Los Pinos determinó la fijación de una cuota mensual a todos los usuarios de la red, para sustentar un fondo de emergencias y trámites legales.

De igual forma, fue relevante no catalogar el proyecto como de "agua potable", aún cuando se consideró la potabilización, porque implicaba una serie de trabas normativas (e.g. permisos de la

autoridad sanitaria y análisis de agua para cumplimiento de Normas Chilenas) y la imposibilidad de ciertos entes estatales de apoyar esta iniciativa (e.g. Municipio o INDAP).

El funcionamiento de la RPA en su primer año de operación fue irregular, principalmente por una serie de retrasos en su implementación y porque los usuarios se están adaptando a esta nueva forma de autogestionar su abastecimiento de agua. El equipo multidisciplinario de profesionales acompañó el proceso de operación a través de visitas a terreno y reuniones con los beneficiarios, ayudando a identificar los problemas y proponer soluciones autogestionadas. Durante el verano 2019-2020 los beneficiarios pudieron abastecerse de agua de la RPA, sin necesidad de camiones aljibe.

Capacitación

Producto del diagnóstico socio-ecológico se constató la necesidad de abordar temáticas clave para la gestión integrada del agua en el territorio. En consecuencia, el programa de capacitación se desarrolló en paralelo a las acciones organizativas y de elaboración del plan de ordenación de la microcuenca abastecedora de agua, contemplando 6 talleres abiertos a toda la comunidad. Dos talleres se enfocaron en conceptos básicos de ciclo hídrico local, manejo agrícola y forestal con criterios ecológicos, donde la comunidad recibió contenidos teóricos y realizó actividades prácticas para el desarrollo de actividades productivas, sin comprometer la calidad y cantidad de agua. En tres talleres se implementaron acciones de protección de la microcuenca (zanjas de infiltración, instalación de cercos, plantación de especies nativas) y de construcción del humedal artificial para la depuración de aguas grises y negras. Finalmente, el sexto taller permitió entregar los conocimientos para operar y mantener la red de agua en funcionamiento, apoyando la organización interna de la Agrupación Los Pinos. El programa contó con la participación activa de la comunidad y permitió nivelar conocimientos, manejando conceptos de sustentabilidad y buenas prácticas productivas que se relacionan con su buen vivir y mejoran las relaciones socio-ambientales en el territorio.

La capacitación también incluyó a 20 funcionarios públicos del Municipio de Ancud, INDAP, SAG y CONAF, a quienes se realizaron 3 talleres para entregar conceptos básicos de gestión integrada de cuencas y eficiencia en el uso del agua, además de dar a conocer en terreno la experiencia de Catrumán. Esto, en teoría, fortalecerá los vínculos con la comunidad y promoverá la coordinación entre actores estatales que apoyan el desarrollo rural.

En términos cualitativos, los principales elementos fortalecidos a través de este proceso son la autonomía y la reducción del asistencialismo instaurado en la gestión pública actual, promoviendo la asociatividad entre los beneficiarios directos de la red, relaciones de confianza y reciprocidad entre ellos. La Agrupación Los Pinos creó un sistema de coordinación y comunicación interno que aseguraba la asistencia de todos los beneficiarios a las actividades planificadas, lo que explica la alta concurrencia a los talleres, mingacos y reuniones. En definitiva, el proceso fortaleció las capacidades de los habitantes de Catrumán para entender y buscar soluciones conjuntas a los problemas de abastecimiento de agua, generando una visión ecosistémica del problema, donde los habitantes locales son fundamentales por ser quienes mejor conocen su territorio.

Las metodologías utilizadas para la capacitación permitieron motivar y asegurar la participación local, aportando a generar un cambio de paradigma desde el asistencialismo actual hacia

un proceso de autogestión territorial local. Permitió desarrollar un análisis participativo e integral, donde los actores implicados se convierten en los protagonistas del proceso de construcción del conocimiento en torno al objeto de estudio, tanto en la detección de problemas y necesidades, como en la elaboración de propuestas y soluciones (Villasante 2003). Por su parte, el equipo multidisciplinario de profesionales que ejecutó esta iniciativa cumplió el rol de orientar el proceso de diagnóstico y toma de decisión, recopilando y sintetizando información relevante para la discusión, además de acompañar a la comunidad local en la planificación del territorio, acciones de manejo y capacitaciones.

Comunicación y difusión

Se establecieron canales de comunicación permanente entre los beneficiarios directos del proyecto y el equipo ejecutor, con la realización de 5 asambleas participativas donde se presentó el diagnóstico y las propuestas de solución, que fueron complementadas y validadas por la comunidad. Para convocar e informar sobre las actividades se utilizaron canales de comunicación de uso común para los habitantes del sector rural, tales como mensajes radiales y contacto telefónico.

La difusión externa respondió a una planificación temporal dinámica, que contempló comunicados de prensa de cada actividad desarrollada para ser difundida en la prensa local, destacando hitos que fueron difundidos por la prensa provincial, regional y nacional. Además, se coordinaron entrevistas en medios de comunicación provinciales y se creó un sitio web donde se sistematizaron todas las actividades, informes y apariciones en prensa. Esto permitió la presencia permanente en la opinión pública, cumpliendo el objetivo de difundir la iniciativa.

A modo de resumen, los principales resultados de este trabajo son:

- Aspecto cuantitativo: red de distribución de agua funcionando para 14 familias (42 beneficiarios directos aproximadamente) y 104 personas (población de Catrumán) como beneficiarios indirectos que reciben agua en el centro cívico; monitoreo hidrológico continuo; plan de ordenación de la microcuenca parcialmente ejecutado, con un humedal artificial funcionando, 4 zanjas de infiltración que suman 200 metros, 800 árboles nativos plantados, 400 metros de cerco para proteger plantaciones y 310 metros de cerco de protección ribereña, además del apotreramiento de 1,5 hectáreas aprox. e instalación de 4 bebederos para bovinos. Se constituyó la Agrupación Los Pinos, que vela por el funcionamiento de la red; se realizaron 6 talleres de capacitación a habitantes locales (100 asistentes locales en total), y 3 talleres a funcionarios públicos (80 asistentes), además de 5 asambleas territoriales (86 asistentes en total, incluyendo funcionarios municipales y autoridades).

- Aspecto cualitativo: se beneficia la comunidad generando autonomía, reduciendo el asistencialismo instaurado en la gestión pública actual y anulando el abastecimiento de agua mediante camiones aljibe para los beneficiarios, así como los costos de distribución de agua para el Municipio de Ancud. Se promueve la asociatividad entre los beneficiarios de la red, generando relaciones de confianza y reciprocidad entre ellos. La Agrupación Los Pinos vela por el buen funcionamiento y mantención de la red.

En síntesis, se constata un alto impacto social y económico de este proyecto para los habitantes de Catrumán.

Conclusiones

La gestión integrada del territorio conjuga variables sociales, ecológicas y económicas, además de adoptar una escala espacial y temporal de trabajo para solucionar los problemas socio-ecológicos detectados. Requiere la participación activa de los habitantes locales, el Estado y la academia, integrando conocimientos tradicionales y científicos, así como los hábitos y las características del hábitat que se expresan en su identidad y cultura.

En función de los objetivos propuestos, el impacto más significativo es que el universo muestral es abastecido de agua a través de la RPA, mientras el grupo control aún depende de camiones aljibe y tiene alta incertidumbre en su abastecimiento futuro de agua. Esto confirma nuestra hipótesis de trabajo, ya que el acceso al agua está determinado fundamentalmente por la forma en que se gestionan los ecosistemas que almacenan agua. La extracción, uso y contaminación del agua por actividades productivas y habitacionales son elementos claves, que pueden ser modelados para mejorar la regulación hídrica y calidad en microcuencas abastecedoras de agua. El plan de manejo de cuenca, el humedal artificial, junto con el monitoreo hidrológico, son herramientas concretas para cambiar las prácticas productivas en la microcuenca abastecedora de agua y medir sus efectos, avanzando hacia la provisión continua de agua de calidad.

La capacitación de los habitantes locales y funcionarios públicos es fundamental para la promoción de la autogestión local. Se fortaleció las habilidades y conocimientos de los habitantes y otros actores clave, promoviendo un diálogo de saberes y una visión ecosistémica que comprende los procesos ecológicos que afectan la disponibilidad de agua y orienta soluciones integrales de largo plazo.

El modelo de intervención territorial RPA podría ser adoptado como una política pública para enfrentar los problemas de escasez de agua en el centro-sur de Chile, especialmente con Comités de Agua Potable Rural y localidades rurales semi-concentradas y dispersas.

La experiencia práctica nos enseña que el manejo participativo del territorio a escala local genera resultados que son socialmente aceptables, más equitativos y ecológicamente viables.

Referencias

AMULEN-PUC. 2019. Radiografía del agua rural en Chile: visualización de un problema oculto. Santiago, Chile.

ANTINAO, J.L., DUHART, P., CAYTON, J., ELGUETA, S. & MCDONOUGH, M., 2000. Área de Ancud-Maullín, Región de los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, N° 17, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago, Chile.

BARRÍA, P., ROJAS, M., MORAGA, P., MUÑOZ, A., BOZKURT, D. & ALVAREZ-GARRETON, C., 2019. Anthropocene and streamflow: Long-term perspective of streamflow variability and water rights. *Elementa Science of the Anthropocene*, vol. 7, no. 2. ISSN 23251026. DOI <https://doi.org/10.1525/elementa.340>

BAUER, C., 2015. Water conflicts and entrenched governance problems in Chile's market model. *Water Alternatives*, vol. 8, no. 2, pp. 147-172. ISSN 19650175.

BENRA, F. & NAHUELHUAL, L., 2019. Trilogy of inequalities: Land ownership, forest cover and ecosystem services distribution. *Land Use Policy*, vol. 82, pp. 247-257. ISSN 02648377. DOI <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.020>

BROWN, A., ZHANG, L., MCMAHON, T., WESTERN, A. & VERTESSY, R., 2005. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, vol 310, pp. 28-61. ISSN 0022-1694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2004.12.010

BUCHER, J. & GASCÓN, A., 2003. Ordenación Predial Participativa: Una alternativa de desarrollo sustentable para la familia campesina de la Región de Aysén.

CARMONA, A. & NAHUELHUAL, L., 2012. Combining land transitions and trajectories in assessing forest cover change. *Applied Geography*, vol. 32, pp. 904-915. ISSN 01436228. DOI 10.1016/j.ap-geog.2011.09.006

CASEN 2015. Ministerio de Desarrollo Social, Chile. Disponible en: http://observatorio.ministerio-desarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/casen_2015.php

CIREN. 2003. Estudio Agrológico X Región, Descripciones de suelos Materiales y símbolos. ISBN 9567153485.

COLLINS, S., CARPENTER, S., SWINTON, S., ORENSTEIN, D., CHILDERS, D., GRAGSON, T., GRIMM, N., GROVE, J., HARLAN, S., KAYE, J., KNAPP, A., KOFINAS, G., MAGNUSON, J., MCDOWELL, W., MELACK, J., OGDEN, L., ROBERTSON, G., SMITH, M. & WHITMER, A., 2011. An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 9, no.6, pp. 351-357. DOI 10.1890/100068

CONAF y UACH. 2013. Informe Final de Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de recursos Vegetacionales Nativos de la Región de Los Lagos.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. R., 1983. Hidrogeología Subterránea. Ed. Omega (2ª edición). 2 Tomos, Barcelona, 2350 pp. ISBN 10: 8428204470 / ISBN 13: 9788428204477.

DÍAZ, M., BIGELOW, S. & ARMESTO, J. J., 2007. Alteration of the hydrologic cycle due to forest clearing and its consequences for rainforest succession. *Forest Ecology and Management*, vol. 244, pp. 32-40. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/j.foreco.2007.03.030

DONOSO, C. 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. CONAF/PNUD/FAO. FO: DP/CHI/76/003, Documento de Trabajo N° 38.

ECHEVERRÍA, C., NEWTON, A., LARA, A., BENAYAS, J. & COOMES, D., 2007. Impacts of forest fragmentation on species composition and forest structure in the temperate landscape of southern Chile. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 16, pp. 426-439.

FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 2007. La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Estudio FAO: Montes Nº 150. Roma, Italia. ISBN 9789253055517.

FARLEY, K., JOBBÁGY, E. & JACKSON, R., 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*, vol. 11, pp. 1565–1576. DOI 10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x

FEWTRELL, L. & BARTRAM, J., 2001. Water Quality: Guidelines, Standards and Health. World Health Organization. IWA Publishing, London, UK. ISBN: 924154533X. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/who/wa/en/

FUENZALIDA, H., ACEITUNO, P., FALVEY, M., GARREAUD, R., ROJAS, M. & SÁNCHEZ, R., 2007. Study on climate variability for Chile during the 21st century. In: Technical Report Environmental Committee, Santiago, Chile.

FRÊNE, C. & OYARZÚN, C. Manejo Integrado de Cuencas Forestales. En: DONOSO, C., GONZÁLEZ, M. & LARA A. (eds.). Ecología Forestal. Editorial Marizza Cunneo, Santiago, Chile. ISBN: 9789569412066. 2014.

FRÊNE, C., DÖRNER, J., ZÚÑIGA, F., CUEVAS, J., ALFARO, F. & ARMESTO, J.J., 2020. Eco-hydrological Functions in Forested Catchments of Southern Chile. *Ecosystems*, vol. 23, no. 2, pp. 307-323. ISSN ISSN 1432-9840. DOI 10.1007/s10021-019-00404-7.

GARREAUD, R., ALVAREZ-GARRETON, C., BARICHIVICH, J., BOISIER, J., CHRISTIE, D., GALLEGUILLOS, M., LEQUESNE, C., MCPHEE, J. & ZAMBRANO-BIGIARINI, M., 2017. The 2010–2015 mega-drought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Science*, vol. 21, pp. 6307-6327. DOI 10.5194/hess-21-6307-2017.

GARREAUD, R., BOISIER, J., RONDANELLI, R., MONTECINOS, A., SEPÚLVEDA, H. & VELOSO-ÁGUILA, D., 2019. The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A Climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, vol. 40, pp. 421–439. DOI 10.1002/joc.6219

GASTÓ, J., RODRIGO, P. & ARÁNGUIZ, I., 2002. Desarrollo de una metodología para la representación y resolución de problemas de predios rurales. En: GASTÓ, J., RODRIGO, P. & ARÁNGUIZ, I. (eds.): Ordenación Territorial, Desarrollo de Predios y Comunas Rurales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. LOM Ediciones. Santiago, Chile. ISBN 956825000X

GERMER S, NEILL, C., KRUSCHE, A. & ELSENBEER, H., 2010. Influence of land-use change on near-surface hydrological processes: undisturbed forest to pasture. *Journal of Hydrology*, vol. 380, pp. 473–480. ISSN 0022-1694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2009.11.022

HOWARD, G. & BARTRAM, J., 2003. Domestic water quantity, service level and health. World Health Organization.

NAIMAN, R., BISSON, P., LEE, R. & TURNER, M., 1998. Watershed management. En: R. Naiman y R. Bilby (eds.). *River ecology and management: Lessons from the Pacific coastal ecoregion*. Springer-Verlag, New York. pp. 642-661. ISBN 9780387952468.

NEWENKO. 2019. Estudio de escasez hídrica en Chile: Desafíos para el consumo humano y perspectivas en modelos comparados. Santiago, Chile. ISBN 9789560929105.

ONEMI. 2017. Informe final déficit hídrico regional temporada 2016 - Región de Los Lagos. Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.

OSTROM, E. 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, vol. 325, pp. 419-422. ISSN 0036-8075. DOI 10.1126/science.1172133

URIBE J., CABRERA, R., DE LA FUENTE, A. & PANEQUE, M., 2012. Atlas bioclimático de Chile. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Villasante, T. 2003. *Investigación Social Participativa*. Barcelona, España. ISBN 8495776456.

ZAMORANO-ELGUETA, C., CAYUELA, L., REY BENAYAS, J., DONOSO, P., GENELETTI, D. & HOBBS, R., 2014. The differential influences of human-induced disturbances on tree regeneration community: a landscape approach. *Ecosphere*, vol. 5, no. 7, pp. 90. DOI 10.1890/ES14-00003.1