



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Análisis biofísico y social de la cuenca del Río Claro en la comuna de Rengo (Región de O´Higgins): una propuesta de Gestión Integrada del Recurso Hídrico

Patrocinante: Sr. Antonio Lara Aguilar

Trabajo de Titulación presentado como parte
de los requisitos para optar al Título de
Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales

TOMÁS ROBERTO MUÑOZ SALAZAR

VALDIVIA

2016

Índice de materias

Página

i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Resumen	ii
1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTADO DEL ARTE	3
2.1	Gestión Integrada de Cuencas	3
2.2	Ecohidrología	4
2.3	Cuerpos de Hielo	4
2.4	Cambio Climático	5
2.5	Marco Legislativo	6
2.6	Políticas Públicas	7
3	MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.1	Área de Estudio	8
3.1.1	Localización	8
3.1.2	Clima	8
3.1.3	Hidrografía	9
3.1.4	Geología	10
3.1.5	Hidrogeología	11
3.1.6	Vegetación	12
3.1.7	Fauna	12
3.1.8	Demografía	13
3.1.9	Economía	13
3.1.10	Agricultura y Regadío	14
3.2	Metodología	14
3.2.1	Climática	14
3.2.2	Hídrica	15
3.2.3	Cuerpos de Hielo	16
3.2.4	Vegetación	16
3.2.5	Usos de Suelo	17
3.2.6	Oferta y Demanda de Recursos Hídricos en la Cuenca	17
3.2.7	Gestión y Administración de los Recursos Hídricos y Actores Sociales	17
3.2.8	Plan de Gestión Integrada de Cuenca en el río Claro	18
4	RESULTADOS ESPERADOS	18
5	CRONOGRAMA DE TRABAJO	21
6	FINANCIAMIENTO	22
7	REFERENCIAS	23

Calificación del Comité de Titulación

	Nota
Patrocinante: Sr. Antonio Lara Aguilar	6,8

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



Sr. Antonio Lara Aguilar

Resumen

Los recursos hídricos son percibidos separados de los ecosistemas de los cuales forman parte. La separación de los componentes biofísicos, socio-económicos y culturales del ciclo hidrológico, sin integrarlos y comprender sus interrelaciones es inadecuada para la gestión de cuencas. La gestión integrada de recursos naturales, debe permitir el manejo de los ecosistemas en su conjunto, buscando la sostenibilidad espacio-temporal de los servicios que proveen para las generaciones actuales y futuras. A nivel local, regional y global la escases de los recursos hídricos se ha visto acentuada en las últimas décadas por el cambio climático (natural y antrópico), alteración del medio ambiente natural y aumento de la demanda de agua. Rengo ha sido la única comuna Andina de la región de O'Higgins declarada zona de escases hídrica el 2015 por la Dirección General de Aguas (DGA). Por ello se proyectan grandes cambios en el territorio como la construcción de un embalse destinado a riego. La administración y distribución de las aguas la realiza la Junta de Vigilancia Río Claro 1ª sección. El presente proyecto propondrá un Plan de Gestión Integrada para la Cuenca del río Claro, incorporando criterios ambientales, hidrológicos y sociales. El objetivo principal de este estudio es: Proponer un plan de gestión integrada de la cuenca y la cartografía asociada, incorporando la participación de las organizaciones involucradas. Los objetivos específicos son: 1) Analizar los componentes físicos, biológicos, sociales y generar la cartografía asociada a uso de suelo, cubierta vegetal, disponibilidad o escasez hídrica en la situación actual. 2) Analizar la oferta y demanda del agua en la 1ª sección del río Claro. 3) Caracterizar las organizaciones a cargo de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca y su relación con los otros actores que habitan el territorio.

INTRODUCCIÓN

El agua como elemento vital para la vida del planeta, está presente en todas las actividades del ser humano y en la estructura de los sistemas naturales. Independiente de su cantidad mantiene un valor simbólico y cultural relacionado con su importancia socio-ambiental. La encontramos en diversos estados, fluyendo, precipitando y con distintos componentes químicos, por lo que toda actividad, aunque no tenga un fin hídrico afecta y se ve afectada por el ciclo hidrológico.

Los recursos hídricos normalmente son percibidos separados de los ecosistemas de los cuales forman parte. Su comportamiento, expresado en variaciones en la cantidad y calidad del agua, no es analizado como un sistema mayor en donde sus componentes bióticos y abióticos inciden, determinando cambios que pueden ser radicales en cuanto a su calidad y cantidad. La separación de los componentes biofísicos, socio-económicos y culturales del ciclo hidrológico, es inadecuado para el manejo de los recursos hídricos y la gestión de cuencas.

Por su lado, el aumento constante por la demanda del recurso hídrico y las sequías en la zona de Chile Central que han aumentado su recurrencia en los últimos años, indican que tienen que haber cambios en los paradigmas sobre el uso de este valioso recurso. Deben considerarse de forma conjunta criterios técnicos, sociales, económicos y jurídicos, para una adecuada gestión.

Un plan de gestión es un instrumento utilizado en las políticas públicas para la planificación territorial a mediano y largo plazo en un área determinada. Estos planes describen un territorio los problemas y oportunidades que presenta y orientan a los tomadores de decisiones para el manejo de los recursos naturales. Los planes de gestión del recurso hídrico se preparan con un profundo entendimiento de los aspectos naturales y humanos del territorio, con información cuantitativa y cualitativa, conociendo la oferta y demanda de agua y la cartografía necesaria para representar el plan en el territorio.

La gestión integrada de cuenca es un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados. Por medio de sus distintas formas de planeación, debe permitir el manejo de los ecosistemas en su conjunto, buscando la sostenibilidad espacio-temporal de los servicios que proveen para las generaciones actuales y futuras. Un territorio se desarrolla mientras se garantice el bienestar social para su población, en forma compatible con la conservación de los ecosistemas.

Problemática.

Gran parte de la población en Chile vive cerca de áreas donde el recurso hídrico está relacionado con zonas de montaña, las cuales actúan como verdaderas “torres de agua” que capturan las precipitaciones. A nivel local, regional y global, la escases de los recursos hídricos, se ha visto acentuada en las últimas décadas por el, cambio climático (natural y antrópico), degradación del medio natural y aumento de la demanda de agua. El Estado de Chile en los últimos años ha declarado a varias comunas como zonas de escases hídrica., ello con el objetivo de desarrollar planes de mitigación de los efectos negativos derivados de la sequía. Rengo ha sido la única comuna Andina de la región de O’Higgins declarada zona de escases hídrica por la Dirección General de Aguas (DGA) en el 2015. Por ello, es que actualmente se elaboran los estudios para la construcción de un embalse en el río Claro principalmente destinado para el riego agrícola.

El río Claro es parte de la principal cuenca de la comuna de Rengo cuya población al año 2002 era cercana a los 50.000 habitantes. Observaciones identifican que la cuenca tiene un área y alturas inferiores que las cuencas cercanas, lo que ha traído consigo el rápido derretimiento de sus glaciares por el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones en las últimas décadas.

El presente proyecto propondrá un Plan de Gestión Integrada para la 1ª sección¹ de la cuenca del río Claro, incorporando criterios ambientales, hidrológicos y sociales.

Objetivo principal.

Proponer un plan de gestión integrada de la cuenca y la cartografía asociada, incorporando la participación de las organizaciones involucradas.

Objetivos específicos:

- 1) Estudiar los componentes físicos, biológicos, sociales y generar la cartografía asociada a uso de suelo, cubierta vegetal, zonas vulnerables y degradadas en la situación actual.
- 2) Analizar la oferta y demanda del agua en la 1ª sección del río Claro.
- 3) Caracterizar las organizaciones a cargo de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca y su relación con los otros actores que habitan el territorio.

¹ La 1ª sección del río Claro de Rengo, se ubica entre las altas cumbres de La sierra de los Punzones y la Ruta 5 Sur. Abarcando la cuenca media y alta del río. Ver figura 1.

ESTADO DEL ARTE

Gestión Integrada de Cuencas: La gestión ambiental debería tener como objetivo lograr una adecuada y equilibrada relación entre el medio ambiente físico y el antrópico, con vistas a lograr la unidad territorial y el desarrollo sustentable para las generaciones futuras y actuales (Ferrando 2003). El manejo o gestión integrada de recursos hídricos comprende las aguas superficiales y subterráneas en un sentido cuantitativo, cualitativo y ecológico, con una mirada interdisciplinaria centrada en las necesidades de las comunidades locales (Van Hofwegen y Jaspers 2000).

Según Dourojeanni *et al.* (2002), la gestión integrada puede entenderse como la voluntad de: a) aunar los intereses de los diferentes usuarios, b) incorporar diferentes aspectos como, cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia de caudales, c) integrar diferentes componentes del ciclo del agua, d) construir la gestión del agua junto con los otros recursos naturales del ecosistema y e) amalgamar la gestión del agua con el desarrollo social, económico y ambiental.

Las políticas en la utilización del territorio o de una cuenca hidrográfica han tenido diferentes enfoques y resultados en los países latinoamericanos. Esto debido a que para la adopción de modelos de gestión de usos múltiples a nivel de cuenca existen muchas dificultades, como la desaparición o el nulo avance de las entidades creadas para ello, las rivalidades interinstitucionales, conflictos con las autoridades regionales, falta de recursos financieros, baja coordinación y base legal adecuada (Zuluaga 2004).

La gestión de la cuenca hidrográfica implica definir planes de conservación, identificar la demanda y la oferta hídrica del área y establecer relaciones entre ellas para definir las estrategias a seguir para mejorar y optimizar la utilización del agua necesaria para la población, los procesos agrícolas, la producción de bienes y servicios necesarios para satisfacer las necesidades de la sociedad (Holguín y Sánchez 2015). Las intervenciones de las laderas, la cobertura vegetal, la deforestación, sobreexplotación de los recursos naturales, erosión del suelo, cultivos monoespecíficos, contaminación, entre otros, son algunos de los ejemplos de los efectos ambientales negativos que ha ocasionado la actividad antrópica, todos estas intervenciones derivan en un impacto común sobre el ciclo hidrológico. En el contexto anterior es que se ve plenamente justificada la gestión integral de cuencas hidrográficas, para precaver el aprovechamiento del recurso hídrico, los recursos naturales de ésta, con una visión integradora, ecosistémica y respetando las necesidades territoriales (Ferrando 2003).

Se considera que para realizar una gestión adecuada del territorio, la cuenca debe ser el eje articulador y el “*sistema hídrico se convierte en un componente estructurante para la evaluación del*

patrimonio natural que ha de ser ordenado, ya que a partir de este componente se reconoce las interrelaciones e interdependencias entre el sistema natural y los sistemas sociales” (IDEAM 2010). Por ello la importancia de realizar estudios ecológicos, hidrológicos y sociales en la cuenca a fin de proporcionar la información necesaria para una gestión integral.

Ecohidrología: Corresponde a la nueva ciencia integradora con nuevos enfoques analíticos para una investigación interdisciplinaria. Amalgamar las ciencias de la Ecología y la Hidrología, tiene el potencial de abrir elementos de alta complejidad y de proporcionar la base para la gestión sostenible de recursos hídricos (Zalewski 2000).

En muchas partes del mundo el impacto de la destrucción y sustitución de los bosques nativos y la relación que tienen sobre el ciclo hidrológico han sido estudiados ampliamente. La estructura y función de los bosques sufren cambios significativos y producen cambios en los ciclos de vida (Franklin *et al.* 2002). Law *et al.* 2001 y Moore *et al.* 2004 registran cambios en la evapotranspiración de los bosques producto de alteraciones a su estructura. Los cambios de uso de suelo modifican la interceptación de niebla del dosel, generando menores ingresos de humedad al suelo. Los cambios en las escorrentías o caudales de cuerpos de agua se han registrado en varios climas y tipos de bosque (Thomas y Megahan 1998; Lara *et al.* 2009; Little *et al.* 2009).

La identificación temprana de cambios sutiles en ciclos ecológicos o hidrológicos en respuestas a la variabilidad natural y el cambio climático antrópico son particularmente importantes en ecosistemas de montaña (Beniston 2000). En ambientes de montaña las distribuciones de organismos vegetales y animales están cambiando rápidamente como respuesta al cambio climático (Krajcik 2004).

Las investigaciones sobre el cambio climático en los últimos veinte años han demostrado claramente la interrelación entre el ciclo hidrológico y la vegetación. Actualmente es ampliamente aceptado que los diferentes usos de suelo y cubierta vegetal, juegan un rol clave en la distribución de agua disponible (Kabat *et al.* 2004).

Cuerpos de Hielo: Según Komarova (2007) un glaciar es un cuerpo de hielo que se encuentran en la superficie terrestre que se forma por la acumulación de nieve, la posterior recristalización de la neviza y que fluye lentamente pendiente abajo.

En Chile, la Estrategia Nacional de Glaciares 2009 realiza una definición operativa de lo que es un glaciar o cuerpo de hielo. “Toda superficie de hielo y nieve permanente generada sobre suelo, que sea visible por períodos de al menos 2 años y de un área igual o superior a 0,01 km² (una hectárea). O

cualquier superficie rocosa con evidencia superficial de flujo viscoso, producto de un alto contenido de hielo actual o pasado en el subsuelo (DGA-CEC's 2009)".

Durante el invierno la precipitación cae predominantemente en forma de nieve en varias regiones del mundo. Este tipo de almacenamiento es vital para las sociedades. La precipitación sólida depende de varios factores geográficos y climáticos como: la altitud, latitud, cuerpos de agua y las circulaciones de masas de aire regionales (Mckay y Gray 1981). Singh y Singh (2001), indican que la relación entre nevadas y la precipitación anual varía de forma lineal con la altitud y que más del 60% de la precipitación anual es sólida en zonas sobre los 2.000 m s.n.m.

Los estudios glaciológicos realizados en la Cordillera de los Andes de Chile cuentan con diferentes fuentes de información y observaciones en terreno que permiten realizar análisis de la superficie ocupada por los glaciares a diferentes escalas temporales (Muñoz *et al.* 2015).

Cambio Climático: Actualmente existe un amplio consenso científico en torno a que el fenómeno del cambio climático es un hecho innegable, causado principalmente por la acción antrópica que ha aumentado las concentraciones de gases de efecto invernadero (IPCC 2013).

Según la Convención Marco sobre Cambio Climático, Chile es de los países que se consideran especialmente sensibles al cambio climático dado que: presenta áreas costeras de baja altura; zonas áridas, semiáridas; zonas boscosas y expuestas al deterioro forestal; propenso a desastres naturales; zonas propensas a sequías y desertificación; áreas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y ecosistemas de montaña frágiles (cordillera de la Costa y de Los Andes).

Las reconstrucciones de largo plazo basada en anillos de crecimiento de árboles, fluctuaciones glaciares y documentos históricos, muestran un aumento consistente en las temperaturas durante el siglo XX (Lara *et al.* 2005). Para las precipitaciones de Chile Central se observa una importante variabilidad interanual y decadal. Sin embargo, se puede observar en los últimos 20 años una clara tendencia de disminución de las precipitaciones sin precedentes en el último milenio (LeQuesne *et al.* en prep).

Los caudales han tenido un cambio positivo en el último tiempo (1951-2005) en ambos lados de Los Andes entre la latitud 30° y 37° S. Se debe a la mayor recurrencia e intensidad de los eventos El Niño y probablemente al aumento de la ablación en los glaciares debido a las mayores temperaturas registradas a ambos lados de la cordillera (Masiokas *et al.* 2006). Se ha determinado una tendencia positiva de la isoterma cero para Chile Central, entre 1975 y 2001, un aumento promedio de la isoterma 0°C de 122 m en invierno y 200 m en verano (Carrasco *et al.* 2005 y 2008).

Durante los años 2010-2015 el Centro-Sur de Chile entre 30° y 40°S ha experimentado una sequía de una duración sin precedentes en los últimos 50 años que ha sido definida como una mega-sequía. El Déficit de precipitaciones ha sido promedio de un 30%, estimándose que cerca de un cuarto de este déficit se debe al cambio climático antrópico (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia 2015).

Los modelos climáticos del IPCC (2013) a escala global y otros modelos regionales a escala más detallada elaborados por el Departamento de Geofísica de Universidad de Chile (2012), predicen un aumento global de las temperaturas para todo el territorio Chileno. Para Chile Central en el período 2031-2050 se proyecta un aumento de las temperaturas promedio de 2°C en un escenario desfavorable y de 1 a 1.5 °C en el escenario más favorable.

Marco Legislativo: Con la promulgación de la Constitución Política de 1980 y la dictación del Código de Aguas en 1981, se realizan grandes cambios en el marco legislativo entorno al recurso hídrico. El Código de Aguas de 1981 define el recurso hídrico como un “bien nacional de uso público” pero, al mismo tiempo indica que es un “bien económico” (Larrain *et al.* 2010). Por otra parte, establece que todo uso del agua requiere la constitución de un derecho de agua entregado gratuitamente por el Estado, el cual una vez constituido se puede vender, comprar, arrendar o heredar al arbitrio del titular de los derechos. De esta manera el agua en la práctica es un bien privado y ha favorecido la concentración de la propiedad y especulación con los derechos de agua (Larrain *et al.* 2010). Todo esto además está sujeto a la Constitución Política de Chile que en su artículo 19, N°24 declara “Los derechos de los particulares sobre las aguas, reconocidas o constituidas en conformidad a la ley, otorgaran a sus titulares la propiedad sobre ellos”.

El 2005 se hizo una reforma al Código de Aguas de 1981 una de las modificaciones es la patente por no uso del agua mediante la Ley N°20.017, cambio que no ha alterado la concentración y monopolio existente en torno al agua (Larrain *et al.* 2010).

La Dirección General de Aguas (DGA) tiene la responsabilidad de constituir derechos de agua, controlar y planificar su uso. La DGA es una institución sectorial e independiente de los usuarios y no ejecuta por sí mismo la infraestructura para el aprovechamiento. Por esta razón, las funciones de la DGA son de vigilancia y muy limitadas no teniendo la capacidad de implementar programas de uso múltiple. Uno de los mayores problemas que registra la gestión del agua en Chile es que no se tiene una visión integradora de los recursos hídricos (Larrain *et al.* 2010).

Las organizaciones de usuarios reconocidas por el Código de Aguas son las: Comunidades de Agua, Asociación de Canalistas y Juntas de Vigilancia. En febrero del 2011 se promulga la Ley N°20.500 sobre Asociaciones y Participación Ciudadana en la Gestión Pública, la cual podría ser una herramienta legal para organizar cuenca (Oppliger 2012).

Políticas Públicas: La Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015. Propone nuevas formas de ordenamiento territorial como pilar fundamental en la distribución y disponibilidad de los recursos hídricos en cada territorio. El principal objetivo es garantizar a las generaciones actuales y futuras, la disponibilidad y acceso al agua en estándares de calidad y cantidad mediante el uso racional y sustentable de los recursos hídricos y fortalecer la participación de las organizaciones sociales.

En el 2013 Chile se plantea la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (ENRH) hasta el 2025, dónde se identificaron aspectos prioritarios. Estos son: 1) Gestión Eficiente y Sustentable, 2) Mejorar la Institucionalidad, 3) Enfrentar la Escasez, 4) Equidad Social y 5) Ciudadanía Informada. El eje 1) considera clave la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) y la gestión integral de cuencas, dado que se entiende que cada cuenca o territorio tiene sus particularidades y cobran interés las Organizaciones de Usuarios de Agua.

Estrategia Regional de Desarrollo (ERD) 2011-2020 tiene en su dimensión territorial el sector de recursos naturales. Se plantea como objetivo general mejorar el uso eficiente del recursos hídrico, especialmente en el valle central, fomentando el desarrollo de obras de protección, provisión y reserva del recurso hídrico proveniente de las lluvias, ríos, protegiendo los glaciares y cuencas cordilleranas; construcción de embalses, canales y sistemas de cosechas de aguas lluvias. En la Dimensión Medio Ambiente se busca compatibilizar el desarrollo con la preservación del medio ambiente, pues solo así se garantizará que los recursos estén disponibles en cantidad y calidad. En la Estrategia, entre los lineamientos para el desarrollo de la comuna de Rengo está: formular un plan de gestión para los sectores cordilleranos a fin de conservar su biodiversidad, la calidad de suelos, formular un plan de gestión y manejo de los recursos hídricos existentes en la alta cordillera.

El Plan Regional de Infraestructura y gestión del Recurso Hídrico al 2021 tiene como objetivo proveer infraestructura y gestión del recurso hídrico para contribuir al desarrollo de la región de O'Higgins. Dentro de los objetivos específicos esta: contribuir a la gestión eficiente y al resguardo del recurso hídrico regional. En la dimensión territorial, los recursos hídricos se considera como prioridad, por ello se incentiva la implementación de riego tecnificado, obras de protección, provisión y reserva del recurso hídrico como: protección de glaciares y cuencas, construcción de embalses y canales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Localización: La cuenca del río Claro se encuentra circunscrita a las comunas de Rengo, Malla, Quinta de Tilcoco y San Vicente de Tagua Tagua en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Si bien abarca otras comunas, la 1ª sección se encuentra totalmente en la comuna de Rengo. Se ubica en los 34°30'S- 70°39'O, Figura 1. Sus aguas fluyen de suroriente a norponiente hasta llegar a la comuna de San Vicente de Tagua Tagua donde desemboca en el río Cachapoal. Colinda con la Reserva Nacional Río de Los Cipreses por el Este, por el Norte con el río Claro de Cauquenes y el estero de Los Leones ambos drenan al río Cachapoal, el límite Sur está dado por la divisoria de agua que los separa, por el sur-oeste del estero Rigolemu y estero Antivero que fluyen hacia el río Cachapoal y el río Clarillo por el sur-este que drena sus aguas al río Tinguiririca.

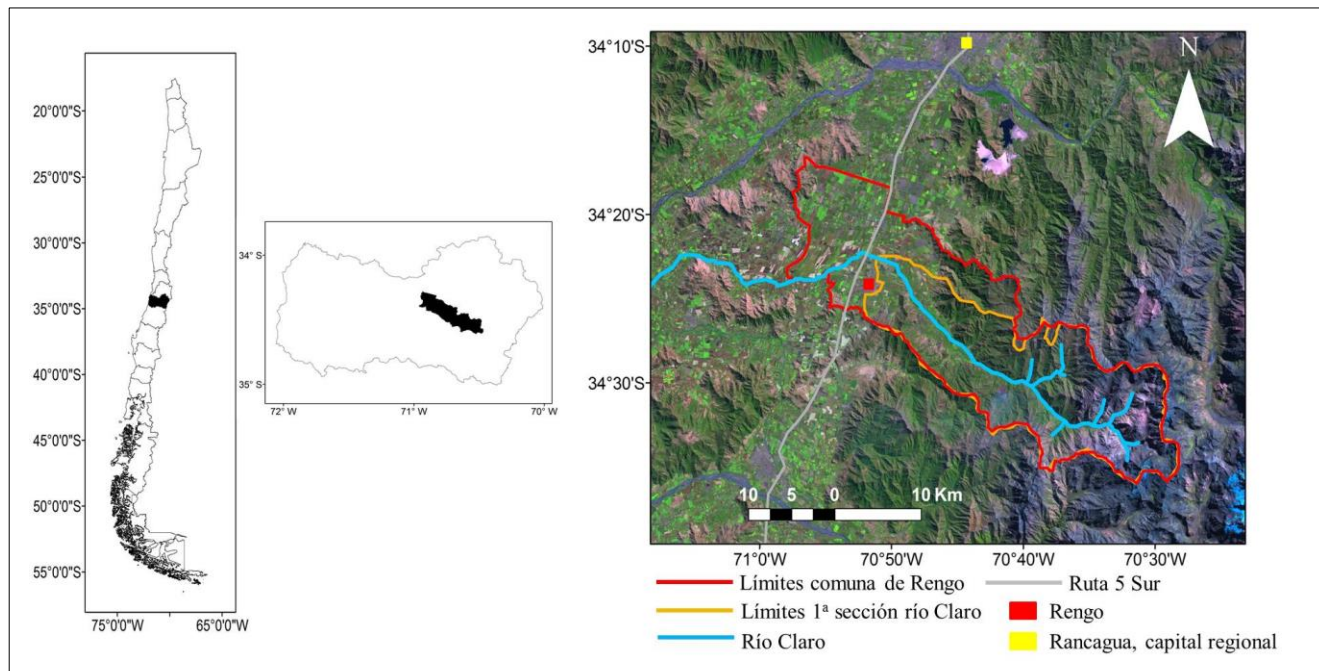


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Elaboración propia a partir de Imagen LANDSAT TM 2009. Combinación de bandas del falso color, Bandas 6-5-4.

Clima: El clima que predomina en la zona es el Templado Mediterráneo con estación seca prolongada. Se caracteriza por la presencia de lluvias en la época invernal (Junio-Julio-Agosto) y una larga temporada seca que va desde los meses de noviembre a marzo. Figura 2.

En la cuenca media del río (estación Popeta) la temperatura media anual es de 13°C con un promedio de verano de 21°C mientras que el de invierno es de 7°C, datos DGA, análisis propio. Las precipitaciones varían dependiendo la estación de medición (Cuadro 1), Rengo situada a 310 m s.n.m. registra un valor medio anual de 521 mm, la estación Popeta 579 mm a 480 m s.n.m. y la estación Central Las Nieves 815 mm a 700 m s.n.m. DGA, análisis propio.

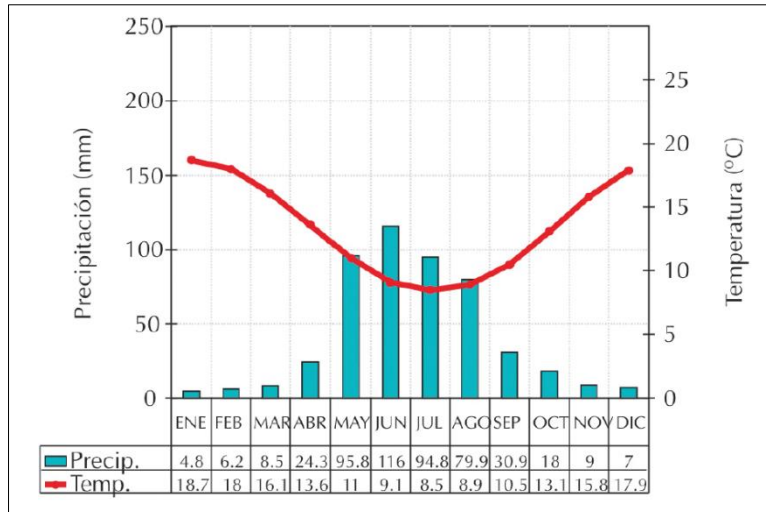


Figura 2. Gráfico ombrotérmico de la estación Rengo. Fuente INIA (2007).

Hidrografía: La cuenca del río Claro presenta un régimen mixto Pluvio-nival, con los mayores caudales entre junio-julio y noviembre-diciembre, Figura 3. Nace aproximadamente a los 2.300 m s.n.m. en la Laguna Los Cristales que recibe las aguas provenientes de los picos más altos de 3.700 m s.n.m., luego es nutrido por las aguas de la laguna Negra, las quebradas de la Pandina, El Cepillo, El Cascajal, Mata de Lobos y Tierras Fofas principalmente. DGA (2004). Los caudales máximos registrados en la estación fluviométrica Central Las Nieves ocurren en junio con $12 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y diciembre con $12,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Los menores caudales ocurren en abril con $3,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

La cuenca completa posee un área de 486 km^2 y un perímetro de 130 km, la 1ª sección del río Claro presenta un área de 385 km^2 . A lo largo de la cuenca se reconoce un drenaje con un marcado control estructural, acentuado en la cuenca media y alta, con un tipo de drenaje dendrítico, Figura 3. Presenta un lecho ordinario confinado, ha desarrollado una llanura de inundación de hasta 300 m de ancho.

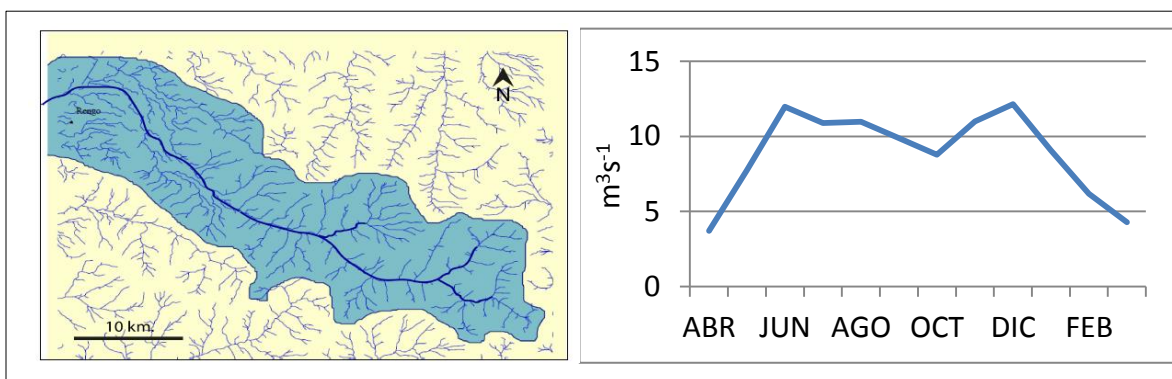


Figura 3. Izquierda, red de drenaje cuenca río Claro de Rengo. Derecha, hidrograma de los caudales medios en la estación Central Las Nieves (DGA) período 1960-2012. Elaboración propia.

Cuadro 1. Red hidrométrica en la zona de estudio.

Estaciones	Nombre	Ubicación (UTM)	Estado	Largo de la serie
Meteorológicas	Central las Nieves	342836 E - 6181563 N	Suspendida	1970-2005
	Popeta	336300 E - 6187583 N	Vigente	1970-2015
	Rengo	328255 E - 6189133 N	Vigente	1970-2015
Fluviométrica	Río Claro en Hacienda las Nieves	343449 E - 6181472 N	Vigente	1960 - 2015
Niveles de Pozos	A.P. Popeta	336283 E - 6187275 N	Vigente	1981 - 2015
	Industria Ticino	330713 E - 6191501 N	Vigente	1952 - 2015
	Viña Santa Lucia	328497 E - 6190711 N	Vigente	1969 - 2015

Geología: La cuenca baja, dónde está la ciudad de Rengo, se caracteriza por la presencia de depósitos de naturaleza fluvio-glacial y aluvial. Se evidencia un desarrollo importante de un abanico aluvial.

La litología dominante en la zona de estudio del río claro de Rengo está compuesta por rocas volcano-sedimentarias de la Formación Abanico. Figura 4. Está formada por sucesiones volcanoclásticas a epiclásticas que forman grandes mesetas andesíticas a riolíticas, ignimbritas, tobas, brechas volcánicas. Secuencia depositada durante Oligoceno-Mioceno (30 millones de años aproximadamente) (Vergara *et al.* 1995).

En la zona alta de la cuenca afloran una serie de intrusivos de naturaleza granodiorítica. Presenta miarolas las cuales poseen en sus paredes crecimiento de minerales euhedrales de cuarzo, actinolita, epidoto y datolita. La actividad plutónica es asociada al sistema transtensional que produce la cuenca de depositación de la formación Abanico y posterior intrusión de la misma, ésta actividad sería contemporánea a la depositación de la formación Farellones (Charrier *et al.* 2007). Algunos de estos intrusivos están asociados a pórfidos Cu-Mo emplazados en zonas de alteración hidrotermales las

cuales se presentan en la formación Abanico y/o Farellones, en el sector los intrusivos están asociados a la alteración hidrotermal llamada “Brecha Rosario de Rengo” (Muñoz 2008).

Las Estructuras de la zona de estudio se reconocen una serie de estructuras plegadas con sucesiones de anticlinales comprimidos y sinclinales abiertos, con trazas alineadas de NNE – SSW. Estas estructuras son visibles en algunos sectores de la cuenca como el cerro Alto de las Romazas y el cerro Los Peñascos.

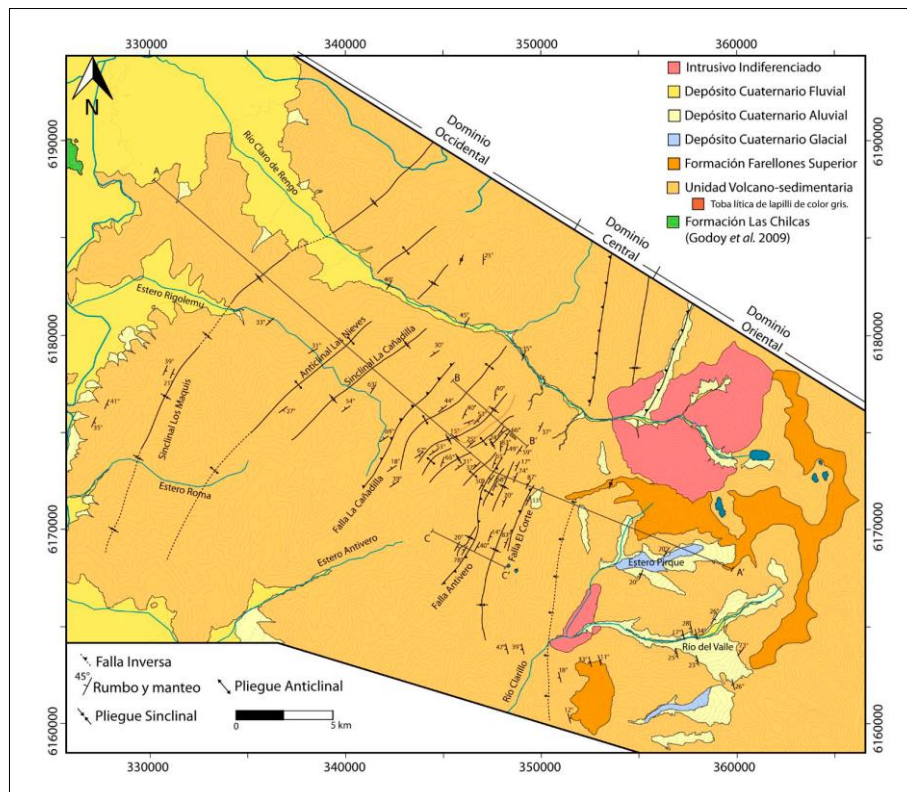


Figura 4. Mapa geológico del área de estudio. Elaborado por Fernanda Alvarado. Departamento de Geología. Universidad de Chile.

Hidrogeología: En la parte alta del valle con laderas encajonadas, los sedimentos son del tipo fluvial y fluvio-glacial, alterándose estratos finos de alto contenido de arcilla con otros bolones, detritos y arenas de alta permeabilidad. Sondajes ubicados en el valle a unos 550 m s.n.m. indican la presencia de acuíferos en los primeros 20 m compuestos por bolones, gravas, gravillas, arcillas y arena, a profundidades mayores hay un alto contenido de arcillas hasta las 140 m. La roca madre debe ubicarse a unos 200 m en el centro del valle disminuyendo en la cordillera (Comisión Nacional de Riego 2010).

Los niveles freáticos se ubican a profundidades de 3 a 10 m en la parte alta y la zona más próxima al río. Hacia el poniente la profundidad disminuye hasta observarse diversos floramientos de

vertientes en la porción occidental del área de estudio, cercano a la Ruta 5 Sur (34°22'S- 70°51'O) (Comisión Nacional de Riego 2010).

Vegetación. La flora terrestre presente en la cuenca está formada por las siguientes comunidades vegetales: Bosque Esclerófilo, Bosque Caducifolio, Bosque Matorral Espinoso, tipo forestal Ciprés de la Cordillera, Estepas y Humedales Altonadinos.

Existe una marcada diferencia entre la ladera de exposición sur y norte en el río Claro, hasta los 1500 m s.n.m. las laderas sur más sombrías y húmedas presentan las especies de Peumo (*Cryptocarya alba* (Mol) Looser), Boldo (*Peumus boldus* Mol), Lingue (*Persea lingue* (R. et P.) Nees ex Koop), Litre (*Lithraea caustica* (Mol) Hook & Arn), entre otras. En cambio en la ladera norte más asoleada y seca están presentes las especies, Espino (*Acacia caven* (Mol)), Chagual (*Puya chilensis* (Mol)), Cactus Columnares (*Trichocereus* spp), además de arbustos xerófitos como los del género *Baccharis* spp. En ambas laderas se pueden encontrar Quillay (*Quillaja saponaria* (Mol)), Maitén (*Maytenus boaria* (Mol)). Cerca de los cursos de agua existen Canelos (*Drimys winteri* Forst.), Chilca (*Fuchsia magallánica* (Lam)) y diversas especies de helechos.

Sobre los 1.500 m s.n.m. la vegetación se comienza a ser más achaparrada donde se encuentran las especies de Coliguay (*Colliguaja integerrima* (Gillies & Hook)), Olivillo de la Cordillera (*Kageneckia angustifolia* (D. Don)), Clavel de Campo (*Mutisia* spp.), *Alstroemerias* spp., Añañucas (*Rhodophiala rhodolirion* ((Baker) Traub)). Además, existen bosques de Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis* ((D. Don) Pic-Serm. & Bizzari)) en varias laderas de la cuenca entre los 1.500 hasta los 2.000 m s.n.m.

Sobre los 2.000 m de altura se encuentran estepas y vegas Altoandinas, algunas de las especies que las habitan son: Capachitos (*Calceolaria* spp.), Mariposa (*Schizanthus hookeri* (Gillies ex Graham)), Pata de Guanaco (*Cistanthe grandiflora* ((Lindl.) Carolin ex Hershkovitz)), Llareta (*Azorella compacta* (Phil.)), Flor del Gringo o corontillo (*Nassauvia pinnigera* (D. Don)), Pasto de Guanaco (*Adesmia longipes* (Phil.)).

Según Donoso (2008) las formaciones vegetales de la zona central de Chile, han sido fuertemente devastadas por incendios forestales, tala destinada a la producción de carbón y deforestación para utilizar los suelos en agricultura y ganadería.

Fauna. Las especies características que se pueden encontrar son: Puma (*Puma concolor* (Lenné, 1771)), Gato Montés (*Leopardus colocolo* (Molina, 1782)), Zorro Culpeo y Chilla (*Lycalopex culpaeus*

(Molina, 1782) y *Lycalopex griseus* (Gray, 1837)), Vizcachas (*Lagostomus maximus* (Weir 1974)), Guanacos (*Lama guanicoe* (Müller, 1776)) y diferentes roedores como los Cururos (*Spalacopus cyanus* Molina, 1782)) endémico de esta zona cordillerana. Entre las aves están presentes: Condor (*Vultur gryphus* (Linnaeus)), Pitíos (*Colaptes pitius* (Molina)), Codornices (*Callipepla californica* (Shaw)), Perdiz chilena (*Nothoprocta perdicaria* (Kittlitz)), Dormilonas (*Muscisaxicola spp.*), Cometocino (*Phrygilus gayi* (Gervais, 1834)), Churrete Chico (*Cinclodes oustaleti* (Scott)). También se pueden encontrar reptiles y anfibios como: Iguana chilena (*Callopistes maculatus* (Gravenhorst, 1838)), Lagartijas (*Liolaemus spp.*), Culebra cola larga (*Philodryas chamissonis* (Wiegmann, 1834)), Sapo arriero (*Alsodes nodosus* (Duméril and Bibron, 1841)).

Es relevante conocer y definir los aspectos biofísicos de la cuenca por ser la base del plan de gestión integrada de recursos hídricos. Cada componente con sus características propias inciden y determinan los flujos del ciclo hidrológico, por ello es importante identificar cambios espacio-temporales, patrones o relaciones cruzadas entre los aspectos biofísicos a fin de contextualizar el territorio y proyectar posibles cambios. Un plan de gestión integrada de cuenca debe contar con esta información como base para la toma de decisiones.

Aspectos Sociales

Demografía: La comuna de Rengo presentaba un población de 50.830 habitantes en el año 2002 Para el año 2012 se proyectó una población es de 61.683, distribuidos prácticamente en 50% de mujeres y de hombres respectivamente (INE). Un 65% habita en áreas urbanas y el 35% lo hace en los sectores rurales. Según la encuesta CASEN, el 88% de la población se considera fuera del rango de pobreza, con bajos índices de hacinamiento y allegados (CASEN 2013).

Economía: La comuna de Rengo presenta una vocación agrícola que atiende el mercado interno y externo. Destacan los cultivos de cereales, legumbres, maíz, papa, tomate. Además, se deben agregar cultivos frutícolas como, duraznos, ciruelas, almendras, manzanas, peras y kiwis. También destaca el cultivo de viñedos con uva de exportación. En su territorio se encuentra el Centro Regional de Investigación Rayentué perteneciente al Instituto de Investigaciones Agrarias (INIA).

El sector industrial se caracteriza por el área agroindustrial con la presencia de packings, invernaderos y frigoríficos, también las empresas vinícolas con sus bodegas de vinos. Empresas de

otros rubros que se encuentran en la comuna son Coca-Cola Company con la embotelladora Vital, Agrosuper e Invertec Foods.

El área turismo es una actividad reciente en la comuna, se desarrollan balnearios ubicados en las riberas del río Claro, en las localidades precordilleranas de Popeta y La Chimba. También forma parte de la llama Ruta del Vino del valle del Cachapoal (Plan Regulador Comuna de Rengo 2006).

Agricultura y Regadío: Los predios agrícolas se dividen en: pequeños (0-5 ha) 77,8% del total, medianos (5-50 ha) 22,1%, grandes (>50 ha) un 4,3 % del total de predios. Los cultivos se dividen en: cultivos anuales 31,7%, cultivos permanentes 48,7%, praderas 6,4%, hortalizas 6,2% y otros 7,1%.

Para mantener toda esta producción económica se utiliza gran parte del agua de la cuenca del río Claro, donde existe un total de 5.975 acciones de derechos de aprovechamiento entregados. El agua se extrae desde un total de 10 bocatomas a lo largo del curso, que forman una red de 22 canales matrices con una extensión de 200 km. En su mayoría estos canales no presentan revestimientos ni obras de protección.

Las reservas de agua para mantener toda esta área con el regadío necesario son la Laguna Los cristales con 8,5 millones m³ y el tranque Cerrillos con 12.000 m³. Adicionalmente existen 20 pozos profundos de uso comunitario que se ubican principalmente al oriente de la ciudad (Comisión Nacional de Riego 2010).

Metodología

Análisis de la Información

En la siguiente sección se presentarán los procedimientos a realizar para el estudio, en primer lugar el análisis de los elementos biofísicos de la cuenca, seguido de la caracterización social del territorio a estudiar. Para la finalización del trabajo y como resultado final se buscará amalgamar la información y resultados recopilados dentro de un plan de gestión integrada de cuenca.

A continuación los análisis a realizar para cada componente:

Climática: Se analizarán los registros meteorológicos de las estaciones administradas por la Dirección General de Aguas (DGA), Rengo, Popeta y Central Las Nieves, que cuentan con registros diarios de evaporación, horas de sol, humedad relativa mínima y máxima, precipitaciones, recorrido del viento y

temperaturas mínimas y máximas. Estos registros están desde 1970 hasta 2015, con algunos períodos sin datos.

También se cuentan con registros del Embalse Laguna de Los Cristales a 2.300 m s.n.m., que cuenta con datos de volumen embalsado, evaporación, filtración, agua entregada por vertedero o válvulas registrados por administrado por la Junta de Vigilancia 1ª Sección. Esta información se encuentra completa desde el 2001 a la fecha. Además, existen registros de temperaturas máximas y mínimas desde el año 2011 a la fecha.

Hídrica: Se analizarán los registros de la estación fluviométrica Central Las Nieves que cuenta con registros diarios de los caudales medios desde 1960 a la fecha.

Los recursos hídricos subterráneos se estudiarán mediante los registros de niveles de pozos vigentes de la DGA que se encuentran dentro de la 1ª sección del río Claro que son: A.P. Popeta, Industria Ticino y Viña Santa Lucia.

Para los estudios anteriores se realizarán análisis de series de tiempo. Con estadística descriptiva básica como: Media, Mediana, Desviación estándar y regresión lineal. Las series de tiempo pueden presentar tendencia o variaciones que pueden ser: estacional, cíclica, irregular, largo plazo, lineal o no lineal. Mediante métodos de promedios móviles se suaviza la serie para observar cambios o tendencias. Por medio de estos modelos se pueden realizar pronósticos. Se utilizará el programa estadístico de licencia libre *R* (<https://www.r-project.org/>).

Por otro lado, se realizarán comparaciones por medio de correlaciones de los registros de estaciones meteorológicas con registros de anillos de crecimiento (cronologías) desarrolladas utilizando métodos dendrocronológicos estándar (Holmes 1983). La dendrocronología es el estudio del crecimiento de anillos de árboles, a partir de tarugos obtenidos de árboles vivos y secciones de árboles muertos de Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*) extraídas en la misma cuenca (sector Cascajal). Las cronologías han sido desarrolladas por el Laboratorio de Dendrocronología y Cambio Global de la Universidad Austral.

Las variables climáticas se relacionarán con los forzantes a gran escala, en este caso con la Oscilación del Pacífico Sur- El Niño. Para ello se utilizará el índice SOI que registra las diferencias de presión atmosférica en Tahití y Darwin, siendo un excelente indicador de las variaciones en los campos de presión del Pacífico (González y Muñoz 2013). El índice adquiere valores negativos cuando es Niño y valores positivos en el caso de la Niña.

Cuerpos de Hielo: Para el estudio de los cuerpos de hielo se utilizarán un conjunto de imágenes LANDSAT entre los años 1976 hasta el 2014, las que cumplen con ciertas cualidades ópticas, fechas de adquisición y se encuentran ortorectificadas. Se trabajará con imágenes MMS (Multispectral Scanner), TM (Thematic Mapper), y ETM+(Enhanced Thematic Mapper). Estas imágenes se adquieren del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Todas las imágenes se encuentran georreferenciadas utilizando el sistema de coordenadas geográficas Universal Transversal de Mercator (UTM) y la proyección WGS84 (World Geodetic System 1984).

Según lo que señala Rivera *et al.* (2002) las imágenes son seleccionadas de acuerdo a los siguientes criterios: 1) que se encuentren con ausencia total de nubosidad o sin nubosidad en la zona englacada, 2) fecha de la imagen satelital, donde la elección debe ser a fines del año hidrológico o período de ablación para el hemisferio sur, entre marzo y abril.

Se realiza una clasificación multispectral de las imágenes basado en la segmentación de bandas donde se describe la comparación de sus valores digitales, método descrito en (Paul *et al.* 2002).

La clasificación de bandas multispectrales esta complementada con variadas composiciones de falso color (CFC) estas se crearon a partir de bandas espectrales cuyo objetivo es diferenciar los hielos de la nieve o sombras. En las imágenes LANDSAT MSS se utilizan las bandas 6-5-4 para combinar el falso color RGB (rojo-verde-azul). Para las imágenes LANDSAT TM y ETM+, se combina las bandas 5-4-3 (Muñoz *et al.* 2015). Luego de realizar la combinación de bandas se procede a realizar una delimitación manual de los glaciares. La delimitación del área glaciar, se realiza comparando la imagen generada con la combinación del falso color RGB, con las imágenes generadas por algoritmos de mapeo (*ISO DATA, Maximum Likelihood, Spectral Angle Mapper*) y el inventario de glaciares de Chile (DGA 2014). El procesamiento de la información se realizará mediante los programa *ArcGIS 9.3* y *ENVI 4.7*, para posteriormente generar los mapas de usos de suelo y cubierta vegetal.

Vegetación: Para la identificación de la cobertura vegetal de la cuenca se utiliza como base la misma metodología del punto anterior.

Para la vegetación se calcula el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (conocido como NDVI), se realiza mediante la diferencia entre la reflectancia de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (rojo visible), Ecuación 1. Los índices de vegetación son transformaciones que involucran una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en ciertas bandas espectrales de la misma imagen (Esperanza y Zerda 2002).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

Existen ciertas limitaciones del Índice de Vegetación Normalizado, por ejemplo cuando existe una cobertura superior al 50% el índice tiende a saturarse y no es sensible al verde cuando el suelo está desprovisto de vegetación (Gill *et al.* 2009), también pueden existir problemas de iluminación o contaminación. Estas limitaciones se pueden minimizar con el conocimiento del territorio y trabajo en terreno.

Luego de la combinación de bandas y el cálculo del NDVI se procede a delimitar las coberturas vegetales de la cuenca.

Usos del Suelo: Mediante la revisión del Catastro Nacional de Vegetación de CONAF, el Censo Agropecuario 2007 y visitas a terreno. Se realizarán mapas de usos de suelo, cubierta vegetal, zonas vulnerables y degradadas acotadas a la cuenca de estudio. Se utilizarán imágenes LANDSAT del año 2016 con una resolución de 900 m² por pixel.

El procesamiento de la información se realizará mediante los programas *ArcGIS 9.3* y *ENVI 4.7*.

Oferta y Demanda de Recursos Hídricos en la Cuenca: Se estudiarán los registros de riego y datos que cuenta la Junta de Vigilancia 1^a Sección del río Claro de Rengo. Por otro lado, se realizarán entrevistas a los encargados de la sanitaria Essbio responsable de la distribución de agua potable en la comuna de Rengo, principalmente para obtener datos del número de arranques o el consumo de agua de la población. Además, se entrevistará a los dirigentes y operarios de los Comités de Agua Potable Rural (APR) de la comuna y se consultará sus registros para observar el comportamiento de la demanda en el tiempo. Se indagará la demanda de otros rubros.

Se hará un análisis de series de tiempo de oferta y demanda, para identificar variabilidad estacional, interanual y tendencia para diferentes estaciones donde el verano y período de riego adquiere una gran importancia.

Gestión y Administración de los Recursos Hídricos y Actores Sociales: Mediante información cualitativa recogida de reuniones y entrevistas semiestructuradas con la Junta de Vigilancia 1^a Sección del río Claro de Rengo. Se analizará el sistema de gestión de las aguas de la cuenca, utilizando metodologías de estudio como el análisis FODA y/o árbol de problemas (Martínez, R. y Fernández, A. 2008).

Se mantendrán reuniones con otros actores locales involucrados con los recursos hídricos de la cuenca. Entre estos actores están: las autoridades de la Ilustre Municipalidad de Rengo, dueños o administradores de la Hacienda Las Nieves, encargados de la sanitaria Essbio, dirigentes de los comités de Agua Potable Rural entre otros. La información será registrada mediante apuntes, grabaciones de audio, fotografías y videos.

Mediante un mapa de actores se caracterizará las relaciones entre los administradores de los recursos hídricos y los demás actores del territorio (Pozo 2007). El mapeo de actores es una técnica que busca identificar los actores claves de un territorio, permita analizar su importancia, influencia e intereses sobre una intervención. Sirve para identificar con quienes se cuenta para realizar algún proyecto o iniciativa. Además, es una buena herramienta para comprender el contexto social, económico y político de un territorio.

Plan de Gestión Integrada de Cuenca en el río Claro: Posterior al análisis biofísico y social de la cuenca del río Claro, se construirá el Plan de Gestión Integrada de la Cuenca junto a los actores involucrados en torno a los recurso hídricos como los son: la Junta de Vigilancia 1^a Sección del río Claro de Rengo, los dueños de la Hacienda Las Nieves, la Ilustre Municipalidad de Rengo, Comités de Agua Potable Rural, Juntas de Vecinos y otras organizaciones civiles y de usuarios del agua de la cuenca.

RESULTADOS ESPERADOS

Se espera obtener el análisis del clima, la hidrología, geología, cobertura vegetal, usos del suelo y el estado de los cuerpos de hielo. Por otro lado se espera conocer la oferta y la demanda del recurso hídrico en la cuenca. Caracterizar el tipo de gestión y administración de los usos del agua, las fortalezas y debilidades de las organizaciones e instituciones a cargo de la gestión y un análisis social de la cuenca.

Tras la realización del estudio biofísico y social con sus respectivos análisis y discusiones se generarán las cartográficas asociadas a la cobertura vegetal, usos de suelo y zonas degradadas.

A partir de los resultados y en conjunto con el trabajo realizado con las organizaciones, instituciones y actores locales. Se construirá un Plan de Gestión Integrada de la cuenca incorporando criterios ambientales, hidrológicos y sociales. Este plan se trabajará con los actores relevantes de la sociedad en el tema hídrico a fin de comenzar su implementación y poder mantener esta visión en las próximas décadas

Es importante que tanto los resultados obtenidos como el plan de gestión integrada de la cuenca cuenten con los registros y difusión necesaria para el conocimiento de éste en la comunidad.

Dentro de los resultados se esperan obtener mapas o diagramas como los presentados en el Manual N°1 de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) y su Aprovechamiento para la Agricultura frente al Cambio Climático en la Región Andina. GIZ (2011) y en la tesis de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo presentada por María Teresa Zuluaga. Área de estudios ambientales urbanos. Universidad de Nacional de Colombia, Sede Manizales. Estos mapas muestran los resultados finales de investigaciones ambientales y sociales.

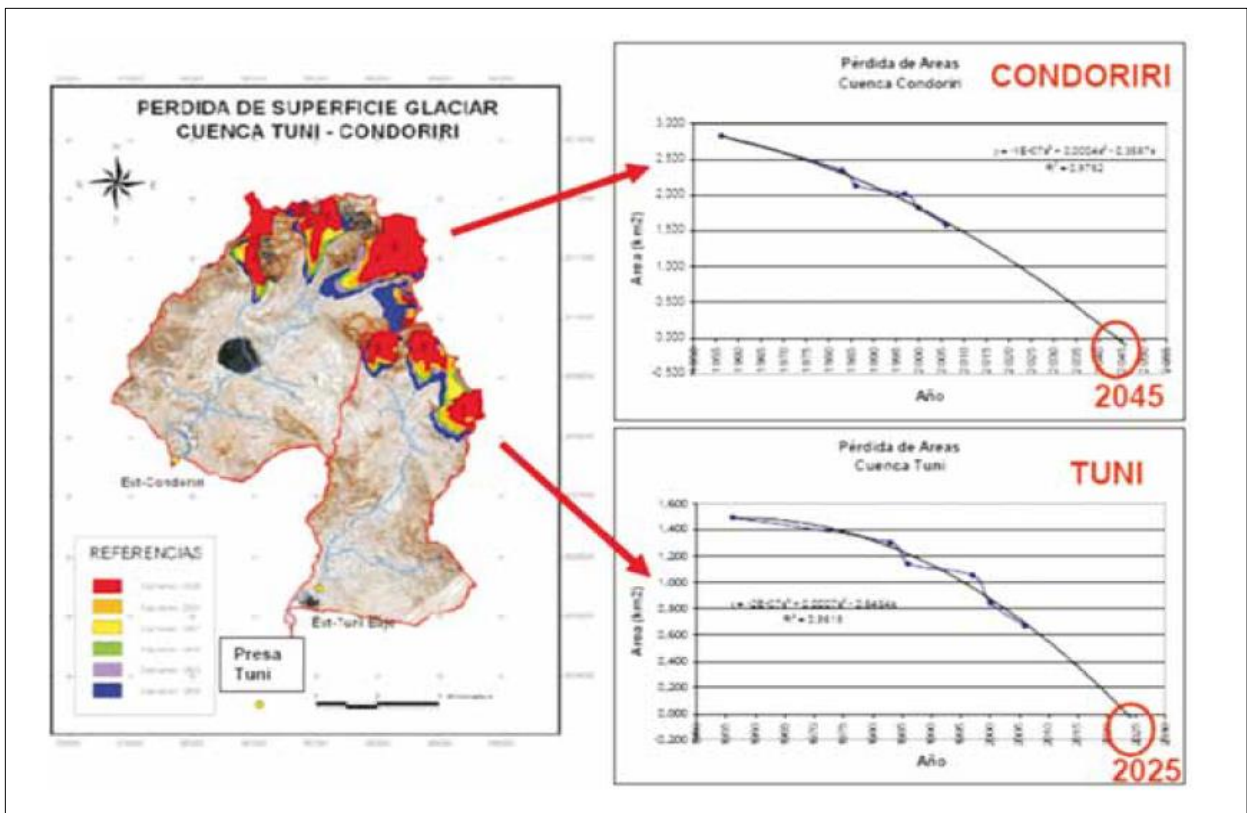


Figura 5. Evolución de la pérdida de superficie glaciar para las cuencas Condoriri y Tuni, La Paz, Bolivia. Extraído del manual N°1 de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). GIZ (2011).

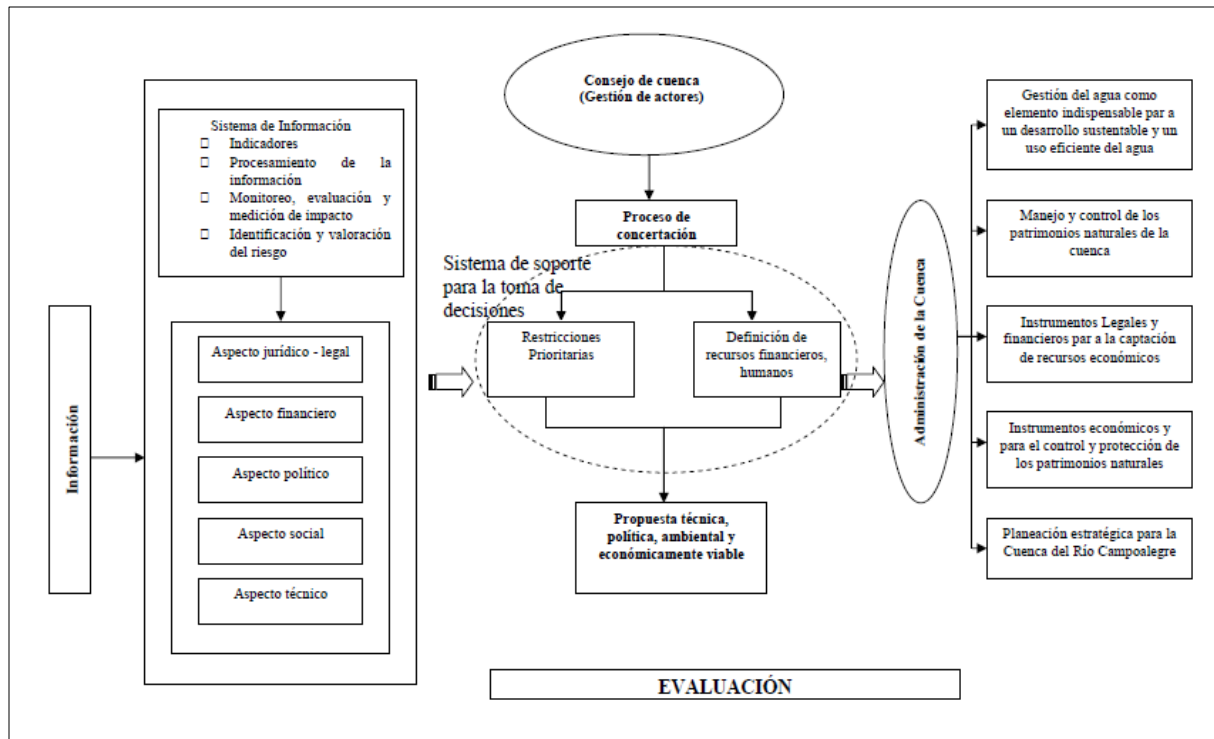


Figura 6. Modelo de planificación para la gestión integrada de cuencas. Extraído de Zuluaga (2004).

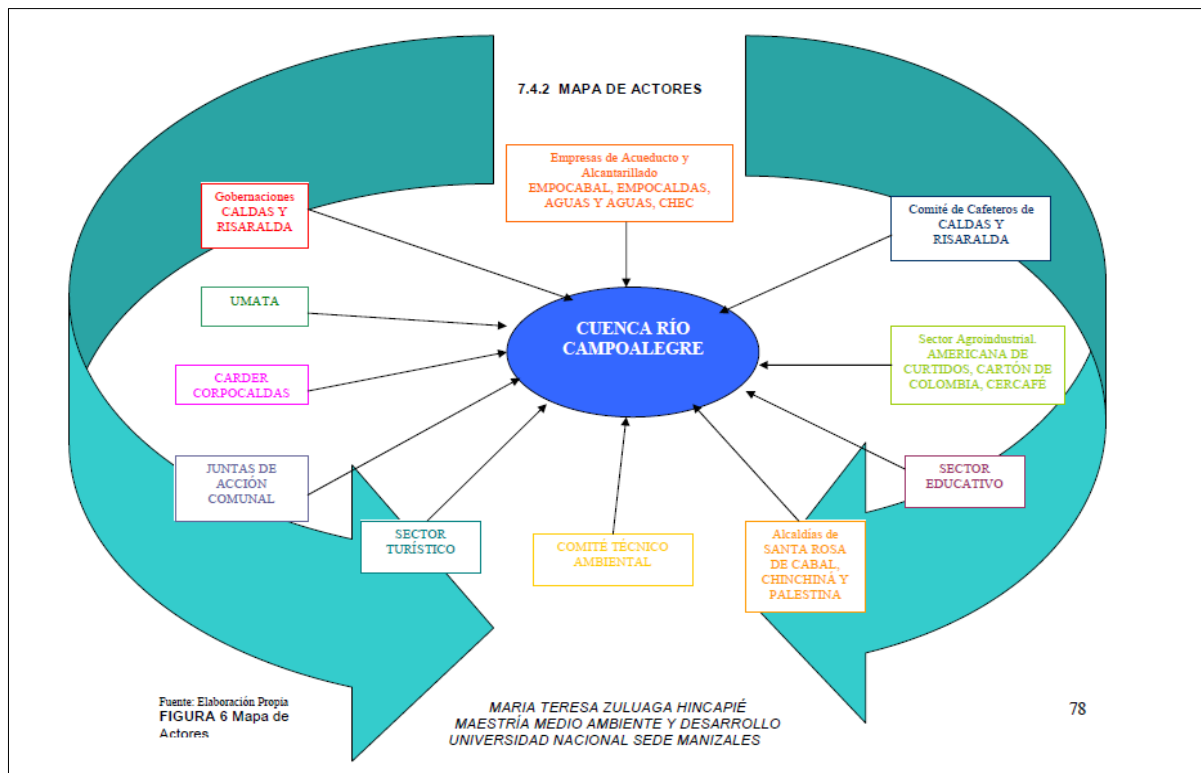


Figura 7. Mapa de actores para el diseño de un sistema integral de gestión del agua en el marco del desarrollo sostenible. Caso cuenca Campoalegre. Zuluaga (2004).

CRONOGRAMA DE TRABAJO

Cuadro 2. Calendario de actividades a realizar durante el estudio.

	2016												2017			
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	
Escrito de Proyecto		X	X													
Entrevistas				X		X			X	X						
Terreno	X			X		X			X	X	X					
Reuniones	X			X		X			X		X					
Recolección de datos			X	X	X	X			X	X	X					
Análisis de Datos				X	X	X	X		X	X	X					
Elaboración Cartografía													X	X	X	
Escritura de tesis								X	X	X	X	X	X	X	X	
Presentación Trabajo Final																X

FINANCIAMIENTO

Detalle general de recursos económicos

Cuadro 3. Recursos necesarios para cubrir los gastos operacionales del estudio.

Ítem	Monto (CLP)
Viajes	\$ 210.000
Alimentación	\$ 105.000
Materiales e insumos	\$ 60.400
Total	\$ 375.400

Desglose de Gastos

Cuadro 4. Detalles de los gastos que involucrará el estudio.

Ítem	Cantidad	Monto por unidad	Total (CLP)
Viajes	7	\$ 30.000	\$ 210.000
Alimentación	7	\$ 15.000	\$ 105.000
Materiales e Insumos			
Fotocopias e Impresiones			\$ 30.000
Ploteo de mapas	4	\$ 7.600	\$ 30.400
Total			\$ 375.400

El proyecto de tesis presentado anteriormente será financiado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)². Centro de Excelencia FONDAP-CONICYT n.15110009.

REFERENCIAS

- Beniston, M. 2000. *Environmental Change in Mountains and Uplands*. London: Arnold.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN), 2012. *Reportes Estadísticos y Comunes 2012*.
- Canal, L., Masiokas, M., Viale, M. y Villalba, R. 2015. Análisis de la Cobertura Nival de la Cuenca Superior del Río Mendoza a Partir de Imágenes MODIS.
- Carrasco, J., Casassa, G. and J. Quintana. 2005. Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrological Sciences Journal*, 50(6), 933–948.
- Carrasco, J., Osorio, R. and G. Casassa. 2008. Secular trend of the equilibrium line altitude in the western side of the southern Andes derived from radiosonde and surface observations. *Journal of Glaciology*, 54(186), 538 – 550.
- Charrier, R., Pinto, L. & Rodríguez, M.P., 2007. Tectonostatigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In: Moreno, T. & Gibbson, W. (eds) *The Geology of Chile*. The Geological Society, London, 21–114.
- Comisión Nacional de Riego, 2010. *Mejoramiento del Sistema de riego en el río Claro de Rengo, región de O'Higgins*. Perfil del Proyecto. Gobierno de Chile.
- CONAMA. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2013. *Plan nacional de adaptación al cambio climático*. Oficina de Cambio Climático Ministerio del Medio Ambiente Santiago, Chile.
- CR² Ciencia del Clima y la Resiliencia. 2015. *Informe a la Nación: la megasequía 2010-2015, Una lección para el futuro* Noviembre. Consultado el 7 de noviembre de 2015.
- Dirección General de Aguas (DGA), 2004. *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetividad de calidad*. Cuenca del río Rapel. Cade-Idepe Consultores en Ingeniería. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile
- DGA-CECs, 2009. *Estrategia Nacional de Glaciares, Fundamentos*. Realizado por Centro de Estudios Científicos (CECs). 290p.
- Donoso, C., 2008. *Ecología Forestal*. El bosque y su medio Ambiente. Edición: 6°. Páginas: 372
- Dourojeanni, A. et al. 2002. *Gestión de agua: Teoría y Práctica*. Santiago. División de recursos naturales e Infraestructura, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 83p.
- Esperanza, F y Zerda, H. 2002. *Potencialidad de los índices de vegetación Para la discriminación de coberturas forestales*. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago del Estero, 2002.
- Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025*. Chile Cuida el Agua. Gobierno de Chile.

- Estrategia Regional de Desarrollo 2011-2020. División de Planificación y Ordenamiento Territorial. Gobierno Regional del Libertador General Bernardo O'Higgins.
- Franklin JF, Spies TA, Van Pelt R, Carey AB, Thornburgh DA, Berg DR, Lindenmayer DB, Harmon ME, Keeton WS, Shaw DC, Bible K, Chen, J. 2002. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management*, 155, 399–423.
- Ferrando, F. 2003. Alcances en torno a la gestión ambiental a nivel de cuencas hidrográficas. *Tiempo y espacio* 13/2003. Depto. Ciencias Sociales. Universidad del Bio-Bio. Chillan. Chile.
- González-Reyes, A. y Muñoz, A.A. 2013. Cambios en la precipitación de la ciudad de Valdivia (Chile) durante los últimos 150 años. *BOSQUE* 34(2): 191-200.
- GIZ. 2011. Manual N°1 de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) y su Aprovechamiento para la Agricultura frente al Cambio Climático en la Región Andina. GIZ GmbH–Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Henderson-Sellers A, McGuffe K, Pitman A. 1996. The project for the intercomparison of landsurface parameterization schemes (PILPS): 1992–1995. *Climate Dynamics*, 12: 849–859.
- Holguín, M.T., Sánchez, M. 2015. La gestión integrada de los recursos naturales, agua y suelo como estrategia para mitigar el impacto del cambio climático. *Mundo Siglo XXI, revista del CIECAS-IPN*. ISSN 1870-2872, Núm. 36, Vol. X, 2015, pp. 41-54.
- Holmes R, C Stockton, V LaMarche. 1979. Extension of river flow records in Argentina from long tree-ring chronologies. *Journal of the American Water Resources Association* 15: 1081-1085.
- Instituto de Investigaciones Agrarias (INIA). 2007. Manejo de agroquímicos en sistemas hortícolas. Santiago de Chile. ISSN 0717 – 4829.
- IDEAM. 2010. “Guía para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia”, segunda versión, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C. p. 4.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013, The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter four: Observations Cryosphere* (317-382). 1523p.
- Kabat P, Claussen M, Dirmeyer PA, Gash JHC, Bravo de Guenni L, Meybeck M, Pielke RS, Vörösmarty CJ, Hutjes RWA, Lütkeemeier S (eds). 2004. *Vegetation, Water, Humans and the Climate*. Springer: New York.
- Kotlyakov, V.M. y Komarova, A.I. 2007. *ELSEVIER'S Dictionary of Geography*. 1073p.
- Krajick, K. 2004. All downhill from here? *Science*, 303: 1601–1602.
- Lara, A., Wolodarasky-Franke, A., Aravena, J.C., Villalba, R., Solari, M., Pezoa, L., Rivera, A. and C. LeQuesne. 2005. Climate fluctuations derived from tree-rings and other Proxy-records in the

- Chilean Andes: State of the art and future prospects. En: Huber, H., H. Gugman and M. Reasoner (Eds), *Global Change and Mountain Regions - A State of Knowledge Overview*. Advances in global change research, The Netherlands, 145 – 159.
- Lara, A., C. Little, R. Urrutia, J.McPhee, C. Alvarez-Garretón, C. Oyarzún, D. Soto, P. Donoso, L. Nahuelhual, M. Pino & I. Arismendi 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management* 258:415-424.
- Larraín, S., Aedo, M.P., Navarrete, K., Villarroel, C. 2010. *Marco Jurídico Para la Gestión del Agua en Chile. Diagnósticos y Desafíos*. Chile sustentable.
- Law BE, Goldstein AH, Anthoni PM, Unsworth MH, Panek JA, Bauer MR, Fracheboud JM, Hultman N. 2001. Carbon dioxide and water vapor exchange by young and old ponderosa pine ecosystems during a dry summer. *Tree Physiology*, 21, 299–308.
- Little, C., Lara, A, McPhee, J. &Urrutia, R. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large-scale watersheds in South-central Chile. 2009. *Journal of Hydrology*. 374:162-170
- Margalef, R. 2002. *Teoría de los sistemas ambientales*. 2ª. Edición. México, Alfaomega y Universitat de Barcelona. 290p.
- Martínez, R.; Fernández, A. (2008). *Metodologías e Instrumentos para la Formulación, Evaluación y Monitoreo de Programas Sociales: Árbol de Problema y Áreas de Intervención*. CEPAL. 13 p.
- Masiokas, M.H., Villalba, R., Luckman, B.H., Le Quesne, C., Aravena, J.C., 2006. Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. *J. Climate* 19, 6334–6352.
- McKay, G. A., and Gray, D. M., 1981. Chapter 5: The distribution of snow cover. In Gray, D. M., and Male, D. H. (eds.), *Handbook of Snow, Principles, Processes, Management and Use*. Toronto: Pergamon, pp. 153–190.
- Moore GW, Bond BJ, Jones JA, Phillips N, Meinzer FC. 2004. Structural and compositional controls on transpiration in a 40- and 450-yr-old riparian forest in western Oregon, USA. *Tree Physiology*, 24, 481–491.
- Muñoz, M. 2008. *Desarrollo de las Superficies Elevadas de Bajo Relieve y su Relación con el Alzamiento Andino entre los 33°30' y 34°30'S*. Memoria de Título. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- Muñoz, T., Farias, D., Christie, D., Muñoz, F., González-Reyes, Á. 2015. Variaciones glaciares recientes y registros de avalanchas en el río Damas, cuenca del río Tinguirirca, Chile Central. XIV Congreso Geológico Chileno 2015. La Serena. Chile.
- Oppliger A. 2012. *Bases para un proceso de gestión integrada en las microcuencas hidrográficas de Mashue, con énfasis en la producción de agua potable rural, comuna de La Unión, región de Los Ríos*. Memoria para optar al título profesional de Geografía. Universidad de Chile.

- Paul, F., A. Kääb, M. Maisch, T. Kellenberger & W. Haeberli. 2002. The new remote sensing derived Swiss glacier inventory I: Methods. *Annals of Glaciology*, 34, 355-362.
- Pirot, Y., Meynell, P. and Elder D. 2000. *Ecosystem Management: Lessons from Around the World. A Guide for Development and Conservation Practitioners*. UK. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge. 132p.
- Plan Regional de Infraestructura y Gestión de Recursos hídricos al 2021. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile.
- Plan Regulador Comuna de Rengo, 2012. Memoria Plan Regulador Rengo Rosario y Esmeralda. Ilustre Municipalidad de Rengo.
- Política Nacional de los Recursos Hídricos 2015. Ministerios del Interior y Seguridad Pública. Gobierno de Chile.
- Pozo, A. (2007). "Mapeo de Actores Sociales".
- Ricklefs, R. 1998. *Invitación a la Ecología, la economía de la naturaleza*. Argentina. Editorial médica panamericana. 692p.
- Rivera, A., A. Acuña, G. Casassa & F. Bown, 2002. Use of remotely sensed and field data to estimate the contribution of Chilean glaciers to eustatic sea-level rise. *Annals of Glaciology*, 34, 367-372.
- Romero, H., Ordenes, F. y Vasquez, A. 2003. Ordenamiento territorial y desarrollo sustentable a escala regional, ciudad de Santiago y ciudades intermedias en Chile. En: Figueroa, E. y Simonetti, J. (Eds.). *Globalización y biodiversidad: Oportunidades y desafíos para la sociedad chilena*, Santiago, Editorial Universitaria. pp. 167-224.
- Singh, P., and Singh, V. P., 2001. *Snow and Glacier Hydrology*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Thomas R.B. y Megahan W.F. 1998. Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon: A second opinion. *Water Resources Research*, 34, 3393-3403.
- Van hofwegen P. y Jaspers F. 2000. Marco analítico para el manejo integrado de recursos hídricos. Lineamientos para la evaluación de marcos institucionales. Washington D.C. BID, 79p.
- Vergara, M., Levi, B., Nyström, J.O. y Cancino, A., 1995. Jurassic and Early Cretaceous island arc volcanism, extension, and subsidence in the Coast Range of central Chile. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 107, N° 12, p. 1427-1440.
- Zalewski M. 2000. Ecohydrology – the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. *Ecological Engineering*, 16, 1-8.

Zuluaga, M. 2004. Diseño de un Sistema integral de gestión del agua en el marco del desarrollo sostenible. Caso. Cuenca del río Campoalegre. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Maestría en medio ambiente y desarrollo. Área de estudios ambientales urbanos. Manizales. Colombia.