

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**“ELABORACIÓN DE METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA
POTENCIALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS
MICROCUENCAS DE LOS RÍOS RAHUE, RANQUIL Y MITRAUQUEN,
COMUNA DE LONQUIMAY, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA”**

Trabajo de título presentado a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero En Recursos Naturales.

FRANCISCO JAVIER ROLANDO MEIER ROCHA

TEMUCO – CHILE

2012

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**“ELABORACIÓN DE METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL
POTENCIALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS
MICROCUENCAS DE LOS RÍOS RAHUE, RANQUIL Y MITRAUQUEN,
COMUNA DE LONQUIMAY, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA”**

Trabajo de título presentado a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero En Recursos Naturales.

FRANCISCO JAVIER ROLANDO MEIER ROCHA

PROFESOR GUIA: MAURICIO ALONSO REYES SCHENCKE

TEMUCO – CHILE

2012

**“ELABORACIÓN DE METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL
POTENCIALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS
MICROCUENCAS DE LOS RÍOS RAHUE, RANQUIL Y MITRAUQUEN,
COMUNA DE LONQUIMAY, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA”**

PROFESOR GUIA :

Mauricio Reyes Schencke
Ingeniero Forestal
Depto. de Ciencias Forestales
Universidad de la Frontera

PROFESORES COGUIA :

Patricio Acevedo Aránguis
Magister en Geofísica
Depto. de Ciencias Físicas
Universidad de la Frontera

CALIFICACIÓN PROMEDIO TESIS:

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Situación de la Energía Eléctrica en Chile.....	4
2.1.1. Política e institucionalidad eléctrica vigente en Chile	4
2.2. Concentración del mercado eléctrico.....	5
2.3. Escasa diversificación y problemas de seguridad en el abastecimiento	6
2.4. Contaminación local e incremento de emisiones de gases de efecto invernadero	8
2.5. Dependencia de combustibles importados y altos costos de la energía.....	9
2.6. Inequidad social y regional en el abastecimiento y pago por servicios eléctricos	11
2.7. Inexistencia de metas de eficiencia energética.....	11
2.8. Mini centrales hidroeléctricas	13
2.8.1. Central hidroeléctrica de pasada.....	13
2.8.2. Comparación entre una central de pasada y una de embalse	14
2.8.3. Tiempo que demora la construcción de una central hidroeléctrica de pasada	14
2.8.4. Cuanta energía pueden generar las centrales hidroeléctricas de pasada	15
2.9. Ventajas de las mini centrales hidroeléctricas	15
2.10. Autonomía v/s Monopolio.....	16
2.11. Un sistema más barato.....	17
2.12. Energía para las comunidades.....	18
2.13. Instalación de Minicentrales	20
3. MATERIAL Y MÉTODO	25
3.1. Área de estudios:	25
3.1.1. Antecedentes de la comuna	25
3.1.2. El clima.....	27
3.1.3. Descripción Agroecológica.....	27
3.1.4. Fisiografía	28
3.1.5. Geomorfología	28
3.1.6. Suelo	29
3.1.7. Vegetación	29
3.1.8. Hidrografía.....	29

3.2. Unidades de estudio.....	30
3.2.1. Río Mitrauquén, sector Cajón del Ancho.....	31
3.2.2. Río Rahue, sector Rahue:.....	31
3.2.3. Río Ranquil, sector Pelehue:.....	33
3.3. Materiales cartográficos, equipos y programas computacionales.....	34
3.3.1. Para laboratorio.....	34
3.3.2. Para terreno.....	34
3.4. Metodología.....	35
3.4.1. Recopilación de información.....	35
3.4.2. Definición de área de estudio.....	35
3.4.3. Identificación de los cursos de estudio.....	35
3.4.4. Delimitación de cuerpos de agua.....	36
3.5. Análisis SIG.....	36
3.5.1. Relleno:.....	36
3.5.2. Dirección de flujo:.....	37
3.5.3. Acumulación de flujo:.....	38
3.5.4. Condicional:.....	39
3.5.5. Interpolación de cubiertas.....	39
3.5.6. Wathershed.....	40
3.6. Mediciones de caudal en terreno.....	43
3.6.1. Identificación de los cursos de agua en terreno.....	46
3.6.2. Segmentación longitudinal de los cursos de agua.....	46
3.6.3. Determinación de profundidades en puntos de muestreo.....	47
3.6.4. Medición de velocidad de escorrentía.....	47
3.6.5. Determinación de caudal.....	47
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1. Material cartográfico:.....	49
4.1.1. Búsqueda de límites, subcuencas y comunales:.....	49
4.1.2. Búsqueda de MDE.....	49
4.2. Definición de área de estudio:.....	50
4.2.1. Fotointerpretación de red hidrográfica.....	51
4.2.2. Delimitación de los cursos de agua.....	52

4.3. Análisis SIG:	53
4.3.1. Relleno (Fill):	54
4.3.2. Dirección de flujo (Flow direction):	55
4.3.3. Acumulación de flujo (Flow acumulation).....	56
4.3.4. Delimitación de cuencas hidrográficas (Wathershed).....	57
4.3.5. Parámetros hidrológicos y morfométricos.....	59
4.4. Muestreo de terreno:	61
4.4.1. Identificación de los cursos de agua en terreno	61
4.4.2. Segmentación longitudinal de los cursos de agua.....	62
4.4.3. Determinación de profundidades en puntos de muestreo.....	63
4.4.4. Medición de velocidad de escorrentía.....	64
4.4.5. Determinación de caudal	65
4.5. Estadígrafos de precipitación	66
4.5.1. Intervalo de confianza de las precipitaciones	67
4.5.2. Desviación estándar de las medias de precipitaciones	68
4.5.3. Curva de tendencia de las precipitaciones.....	69
4.6. Estadígrafos de caudales	70
4.6.1. Modelo de Regresión	71
5. CONCLUSIONES.....	79
6. RESUMEN	80
7. SUMMARY	82
8. LITERATURA CITADA.....	83
9. ANEXOS	86

1. INTRODUCCIÓN

Tras las declaraciones en Europa del Presidente de Chile, Sebastián Piñera, relacionadas con la necesidad de duplicar la capacidad de generación energética si el país alcanza un ritmo de crecimiento económico del 6% anual, mediante las hidroeléctricas, el timonel del Instituto de Ecología Política, Manuel Baquedano, sostuvo que dependiendo de la magnitud del proyecto debiera ser analizada su factibilidad ¹.

Las iniciativas como Hidroaysén dado “el tamaño”, generan una alta externalidad negativa de llegar a ejecutarse. “Sabemos que Chile tiene un caudal importante que puede ser utilizados por hidroeléctricas, el problema no está en esta energía que a mí me gusta bastante, el problema se encuentra en la magnitud, como lo que ocurre en Aysén, ya que generan un impacto ambiental enorme ¹.

El problema no es el uso del vital elemento para generar electricidad, sino que “la escala del proyecto, porque la línea de transmisión de energía resulta ser más cara que las propias represas, como ocurre en Hidroaysén”, agregando que el territorio nacional “queda vulnerable al hacer depender de un proveedor el abastecimiento” de la matriz energética ¹.

Hoy, cuando la energía escasea y está cada vez más cara, resulta incomprensible que el agua que corre por los canales no se transforme en energía. Instalar mini centrales hidroeléctricas en esos cauces podría ser la clave para diversificar la matriz energética nacional, ya que el potencial de producción llegaría a los 860 mega watts. Según establece un estudio, hecho en 2007, por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y la Comisión Nacional de Riego (CNR), que identificó 290 obras de riego para la generación eléctrica desde Atacama hasta la Araucanía².

¹ www.plataformaurbana.cl, 2010

² www.fernandoflores.cl

El mejor ejemplo es Alemania que construyó 5 mil minicentrales, con un potencial total de 4 mil MW. Y en Chile, la disponibilidad de agua es mucho mayor³.

En este momento se está perdiendo la energía hidroeléctrica, la estamos botando al mar. Dos mil 400 millones de dólares cada año³.

Bastaría Con desviar parte del agua hacia un pequeño tranque, tirarla por una tubería hasta la casa de máquinas donde se genera la electricidad y luego devolverla al estero. Con casi cero impacto ecológico⁴.

Según Rolf Fiebig, ingeniero civil dedicado desde hace décadas al suministro de tecnologías a diversas industrias, las pequeñas centrales son la solución definitiva al grave problema de abastecimiento energético que hoy enfrenta el país: "Con estas tecnologías", asegura, "en dos años podríamos triplicar la capacidad instalada en Chile"⁴.

Producto de la crisis, intensificó el lobby (de las empresas generadoras de energía con el gobierno) y al poco tiempo el Congreso promulgó las Leyes Corta I y II que obligan a inyectar lo que generan estas pequeñas empresas a las redes nacionales y, además, les otorga un pequeño subsidio. Como sea, ahora está buscando los 10 millones de dólares que necesita para financiar la instalación de su central, cerca del río Dongo, a 15 kilómetros de Castro. Si todo resulta bien, con ella podrá suplir el 20 por ciento de las necesidades energéticas de Chiloé. Y eso sin contaminar. Porque estas pequeñas centrales a pesar de utilizar una tecnología similar a la de las grandes no consumen combustible. Y por lo mismo no generan CO₂. "Además, enfatiza Fiebig, no requieren grandes obras civiles y no generan inundaciones, movimientos de tierra ni traslados de masas humanas que terminan afectando el medio ambiente"⁵.

El Programa Nacional de Electrificación Rural (PER), fue creado por la Comisión Nacional de Energía a fines de 1994, donde tuvo como objetivos: dar solución a las carencias de

³ Rolf Fiebig, entrevistado en www.ricardoroman.cl

⁴ www.ricardoroman.cl, 2011

⁵ www.es.genderandwater.org

electricidad en el medio rural, disminuyendo los incentivos que generan las migraciones hacia zonas urbanas, fomentando el desarrollo productivo, y garantizado un flujo estable de inversiones públicas para tales efectos⁵.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, en este estudio se plantea como objetivo general, diseñar una metodología para evaluar el potencialidad energética del recurso hídrico superficial de las microcuencas de los ríos Rahue, Ranquil y Mitrauquen, comuna de Lonquimay, región de la Araucanía.

Los objetivos específicos que se plantean son los siguientes:

- Evaluar métodos de elaboración de redes hidrográficas a nivel de microcuencas.
- Modelamiento espacial de recursos hídricos superficiales.
- Determinación de caudales y parámetros hidrológico, morfométrico de las microcuencas.
- Estimación de caudales, corrección de modelo espacial y validación con mediciones en terreno.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Situación de la Energía Eléctrica en Chile

2.1.1. Política e institucionalidad eléctrica vigente en Chile

A partir de la entrada en vigencia de la Ley General de Servicios Eléctricos (DFL N°1) en el año 1982, el mercado eléctrico fue estructurado en segmentos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Simultáneamente, a través de un proceso de privatización, el Estado delegó en agentes privados el abastecimiento eléctrico del país, reservándose sólo funciones de regulación, fiscalización y planificación indicativa de inversiones en generación y transmisión.

Actualmente la operación de las centrales generadoras y de las líneas de transmisión es coordinada en cada sistema eléctrico por los Centros de Despacho Económico de Carga (CDEC), organismos constituidos por representantes de las empresas generadoras comercializadoras, cuya función de acuerdo a la Ley General de Servicios Eléctricos, es:

- a) Garantizar la operación más económica del conjunto de instalaciones del respectivo sistema eléctrico interconectado;
- b) Preservar la seguridad del servicio, y
- c) Garantizar el derecho de servidumbre sobre los sistemas de transmisión establecidos por concesión.

La función del Estado a través de la Comisión Nacional de Energía (CNE), se limita a fijar el precio de los suministros sometidos a regulación de precios, calcular los precios de nudo y los peajes de transmisión troncal y de subtransmisión⁶.

⁶ <http://www.chilesustentable.net>

En consecuencia, la regulación vigente entrega a las empresas la decisión sobre el parque generador, de acuerdo a la información de mercado sobre costos de inversión y mejor tasa de retorno. Este sistema aplicado en Chile durante los últimos 30 años, ha generado un conjunto de problemas económicos, sociales, ambientales y de seguridad de suministro, entre los que cabe destacar: la concentración de la generación en tres empresas que dominan el desarrollo eléctrico según sus prioridades e intereses; escasa diversificación de las fuentes de generación, provocando problemas de seguridad en el abastecimiento eléctrico; niveles insostenibles de contaminación local e incremento de emisiones de gases de efecto invernadero; inequidad social y regional en el abastecimiento eléctrico y los costos económicos por servicios energéticos; creciente dependencia de combustibles importados y débil rol del Estado y los ciudadanos en las decisiones sobre el desarrollo energético del país⁷.

2.2. Concentración del mercado eléctrico

Aunque la industria eléctrica nacional dedicada a la oferta eléctrica está integrada por un conjunto de empresas generadoras, transmisoras y distribuidoras que suministraron una demanda agregada de 58.257 GWh en 2010, el actual mercado eléctrico posee un alto grado de distorsión debido a la concentración de la generación en sólo tres empresas que generan y comercializan el 84% de la energía en el SIC (Endesa, Colbún y Gener), y el 94% de la participación en el mercado eléctrico del SING (E-CL, Gener y Gas Atacama). A través del sistema de licitaciones para clientes regulados y contratos de largo plazo con clientes libres, tienen capturado el mercado eléctrico hasta el año 2020. Ello, obstaculiza el ingreso de nuevas empresas a dicho mercado y obstruye la diversificación de la matriz.

Esta situación, junto a la concentración en la distribución ha dificultando la acción del Estado en la planificación y orientación de la política y la matriz eléctrica, y constituye un factor

⁷ www.chilesustentable.net

determinante de los problemas de seguridad y sustentabilidad que enfrenta nuestro país en el sector eléctrico⁸.

Actualmente no existen políticas que orienten de manera estratégica el desarrollo del sector eléctrico. La liberación de este mercado desde comienzos de la década de los 80 facultó al sector privado a decir dónde, cuándo y cómo desarrollar proyectos eléctricos, y la posterior regulación en el sector ambiental-no ha sido capaz de ordenar el sector.

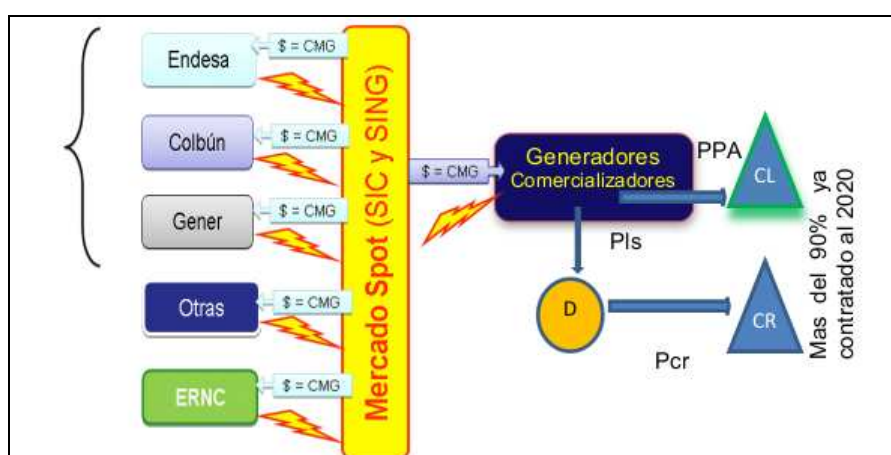


Figura 1. Situación actual del mercado eléctrico (ACERA, 2011).

2.3. Escasa diversificación y problemas de seguridad en el abastecimiento

En las últimas décadas, Chile ha enfrentado graves problemas de abastecimiento eléctrico. Racionamiento a fines de los años 80 y 90; decretos preventivos de racionamiento en 2008, 2010 y 2011 por restricciones hídricas; y adicionalmente “sequía de gas natural” en años recientes (2003 a 2010), a consecuencia de nuestra dependencia de dicho combustible desde un solo proveedor, Argentina. Esta vulnerabilidad del sistema eléctrico chileno, evidencia la insustentabilidad del marco regulatorio vigente, centrado en criterios de menor costo y

⁸ www.chilesustentable.net

neutralidad tecnológica, lo cual se refleja crudamente en el “Plan Indicativo de Obras 2003-2013” de la CNE.

Cuadro 1 Plan indicativo de obras 2003-2013 (CNE, 2003).

Fecha de Entrega		Obras en Construcción	Potencia
Mes	Año		
Abril	2003	Central Cholguán por Arauco Generación S.A.	15 MW
Abril	2003	Central Linatén por Arauco Generación S.A.	13 MW
Junio	2003	Central Colbún S.A. de Ciclo Abierto	253.5 MW
Enero	2004	Central Valdivia por Arauco Generación S.A.	70 MW
Julio	2004	Cierre Ciclo Combinado Central de Colbún S.A.	130.7 MW
		Central Ralco	570 MW
		Obras Recomendadas	
Abril	2007	Central a gas Ciclo Combinado 1	372.6 MW
Enero	2008	Central a gas Ciclo Combinado 2	372.6 MW
Octubre	2008	Central a gas Ciclo Combinado 3	372.6 MW
Enero	2010	Central a gas Ciclo Combinado 4	372.6 MW
Octubre	2011	Central a gas Ciclo Combinado 5	372.6 MW
Octubre	2011	Central a gas Ciclo Combinado 6	372.6 MW
Octubre	2011	Central Hidroeléctrica Neltume	400 MW
Abril	2012	Central a gas Ciclo Combinado 7	372.6 MW
Octubre	2012	Central a gas Ciclo Combinado 8	372.6 MW
Enero	2013	Central a gas Ciclo Combinado 9	372.6 MW

La crisis del gas que vivió el país (2003 a 2010), no generó ningún cambio estructural en el mercado eléctrico nacional, salvo la construcción de dos terminales de GNL (Gas Natural Licuado) y la diversificación de proveedores de dicho combustible. Hoy día Chile se enfrenta a un nuevo ciclo de bajas precipitaciones y su abastecimiento depende en más de un 50% de combustibles fósiles, lo cual además de significar un fuerte aumento de los costos de la energía, ha incrementado las emisiones de gases tóxicos y de efecto invernadero y agravado los problemas de contaminación local (OCDE, 2005).

2.4. Contaminación local e incremento de emisiones de gases de efecto invernadero

La política eléctrica vigente, centrada en la oferta también ha ignorado los límites ambientales. Como consecuencia, Chile enfrenta desde fines de los años 90 problemas de contaminación atmosférica en varias regiones del país, lo que conlleva graves impactos a la salud y la obligatoriedad de establecer Planes de Prevención y Descontaminación.

En los últimos años los gobiernos han debido declarar Zonas Latentes y Saturadas en las regiones de Antofagasta, Atacama, O'Higgins, Bio-Bio y la Región Metropolitana de Santiago. A ello se agregan los conflictos crecientes entre empresas eléctricas y poblaciones locales en Atacama (Castilla), Huasco, Los Robles, Coronel, Patache y Puchuncaví (Campiche), y el rechazo a las centrales térmicas por parte de otros sectores productivos que requieren un ambiente limpio para sus actividades (Los Robles y Barrancones). A pesar de ello, a partir del año 2007 las empresas generadoras han incrementado fuertemente, en 98,31%, la capacidad diesel (1.385 MW), y también la capacidad a carbón en el SIC, llegando a ser la generación térmica el sector dominante (51% a 57%) desde 2009 a la fecha. La carbonización de la matriz eléctrica, producto del menor costo de este combustible en el mercado de commodities energéticos, ha significado un aumento sostenido en las emisiones de gases de efecto invernadero en el país (CNE, 2008).

Actualmente, aunque Chile sólo aporta 0,3% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial, estudios de la Agencia Internacional de Energía y del Fondo Monetario Internacional, muestran que desde 1990 Chile es el país occidental con mayor crecimiento de emisiones de GEI, duplicando la tasa media de emisiones de los países de América Latina y cuadruplicando la tasa media mundial. Estudios oficiales estiman que de continuar esta tendencia, Chile incrementará en 360% sus emisiones de CO₂ en el sector energía al año 2030, a causa de la generación eléctrica y del transporte. Esta situación implica un tremendo desafío para la política energética, un serio obstáculo para responder al requerimiento de los acuerdos multilaterales ambientales y un factor de vulnerabilidad para nuestra economía nacional, profundamente integrada al comercio internacional (OCDE, 2005).

2.5. Dependencia de combustibles importados y altos costos de la energía

Actualmente la potencia instalada en el SING y SIC es de 15.309 MW, y el total de electricidad generada en 2010 fue de 58.257 GWh. La composición de la potencia instalada en el SING es 99,6% termoeléctrica y 0,4% hidro ERNC (menor a 20 MW). En el SIC, en tanto, la estructura es 44% hidroeléctrica, 52% termoeléctrica y 4% ERNC (energías renovables no convencionales).

Cuadro 2. Capacidad instalada de generación eléctrica SING y SIC, 2010 (Rainieri, 2010).

SIC			SING		
Fuente	MW	%	Fuente	MW	%
Hidro	5.147,5	43,9%	Hidro ERNC	12,9	0,4%
Hidro ERNC	153,7	1,3%	Diesel	348,3	9,8%
Diesel	1.747,5	14,9%	Carbón	1.137,9	31,9%
Biomasa	169,0	1,4%	Gas	2.073,9	58,1%
Carbón	1.377,8	11,7%			
Eólica	165,5	1,4%			
Gas	2.975,1	25,4%			
Total	11.736,2	100,0%	Total	3.573,0	100,0%

Fuente: Rainieri, 2010.

La generación eléctrica de ambos sistemas se sustenta principalmente en base a carbón (30%) e hidroelectricidad (35%), mientras que las ERNC sólo aportaron el 3% en el año 2010.

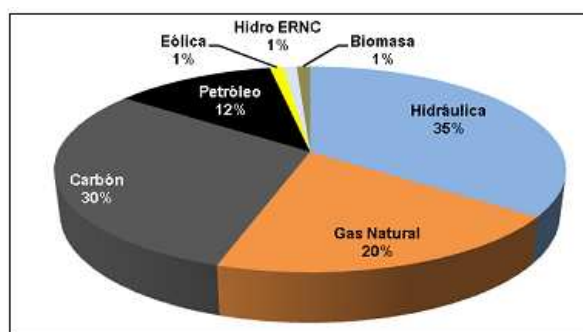


Figura 2. Generación eléctrica del SING y SIC % DE 58.257 GWh, a julio 2010 (Golborne, 2010).

La presencia preponderante de fuentes energéticas importadas somete al país a una exposición importante, no sólo por riesgo de suministro, sino también por el impacto de alzas y volatilidad de los precios internacionales. Hoy Chile importa 97% de sus necesidades de petróleo, 84% del carbón, 78% del gas natural (CNE, 2009). La matriz primaria y secundaria del país muestra sobre 70% de dependencia externa. Simultáneamente, con excepción de la hidroeléctrica, el país sufre un atraso alarmante en el conocimiento y aprovechamiento de sus propios recursos naturales energéticos como la geotermia y eólica y no utiliza su potencial de eficiencia energética.

Esta situación en un escenario de alto precio del petróleo en los últimos años (el costo al cual se transa la electricidad en el mercado tradicional, subió de 135 dólares por MWh en el primer semestre de 2010 a 228 dólares en el primer semestre de 2011), ha significado problemas de competitividad en varios sectores productivos, especialmente el agrícola, una sobrecarga en los costos de transporte y de la canasta básica de productos que consumen las familia de menores ingresos.

Los costos de la energía podrían ser menores en Chile. La Asociación Chilena de Energías Renovables A.G. (ACERA), ha señalado que los precios reales de venta para la electricidad generada por ERNC hoy en Chile, van desde los 60 dólares el MWh para la biomasa, hasta los 180 dólares el MWh para la energía termo solar; lo cual las hace perfectamente competitivas en el contexto actual donde el costos de generación de las centrales a diesel supera los 220 dólares por MWh. Este hecho ha sido comprobado con la inyección de 3% de ERNC, en el Sistema Interconectado Central (SIC) en el año 2010, lo cual resultó en una reducción de 129 millones de dólares el costo operacional en dicho Sistema y una disminución de 3,33% del costo promedio de la electricidad (-5 US\$/MWh)⁹.

⁹ Comisión ciudadana-técnica parlamentaria <http://www.chilesustentable.net>, 2011

2.6. Inequidad social y regional en el abastecimiento y pago por servicios eléctricos

Actualmente en Chile los sectores más pobres de la población son los que pagan un mayor porcentaje de sus ingresos por abastecimiento eléctrico. La inequidad es más aguda en las regiones más distantes de la zona central, como Los Lagos y Aysén en el sur, donde la población en muchas localidades debe pagar entre 30% y 70% más por la cuenta eléctrica, debido a que muchos de los sistemas de generación utilizan diesel como combustible, aunque en dichas regiones existan alternativas energéticas renovables locales para generar energía a menor costo.

En el caso de los sectores de menores ingresos, si bien es cierto existió un subsidio al pago del consumo eléctrico para sectores de escasos recursos entre 2005 y 2006 (Ley N°20.040) con el objeto de disminuir el efecto de las tarifas eléctricas sobre sus presupuestos. Éste sólo cubrió a las familias del SIC, del SING y de los sistemas interconectados de Aysén y Magallanes.

Con posterioridad a la extinción de este subsidio, el Estado generó un apoyo fijo diferenciado para consumidores de escasos recursos del SIC y del SING (18.000 y 12.000 pesos respectivamente) y la entrega de ampolletas eficientes. Sin embargo, este subsidio aun no cubre a toda la población más necesitada y existe la percepción en el sector político de que lo que Chile requiere definitivamente es la instauración de una tarifa social para los segmentos de menores ingresos, lo cual es una medida ampliamente utilizada a nivel mundial (OECD, 2005).

2.7. Inexistencia de metas de eficiencia energética

Si bien Chile ha experimentado un aumento de la demanda eléctrica, la necesidad de duplicar la potencia del “sistema eléctrico” planteada por el Estado y el sector privado, muestra una información sesgada, ya que en términos prácticos el aumento de la demanda eléctrica se ha frenado en los últimos años. Entre los años 2000 y 2010 la generación en el SIC creció sólo 3,9%, mientras que el SING creció 5% (debido principalmente al crecimiento del sector minero). En 2010, la economía creció 5,2% y la demanda eléctrica creció en solo 3,8%.

Al contrario de lo que expresan algunos voceros del mercado energético, el crecimiento económico no necesariamente está acoplado a la intensidad energética; al contrario, la intensidad está asociada al tipo de sector productivo, a la modernización tecnológica y a los sistemas de Gestión. Chile, tal como lo señala la evaluación de desempeño ambiental realizada por la OECD (Organización para la cooperación y el desarrollo económico), tiene un desafío urgente de avanzar en el uso eficiente de la energía (OECD, 2005).

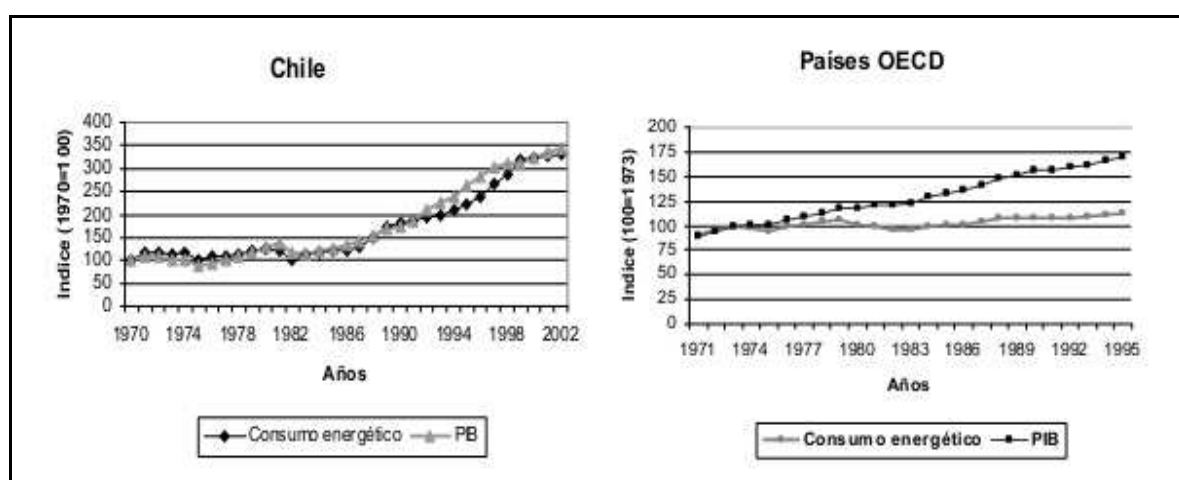


Figura 3. Consumo de energía v/s crecimiento de la economía en Chile y países de la OCDE.

Ello es urgente en los sectores intensivos en el uso de la energía eléctrica, tales como el sector minero, el cual consume el 37% del total nacional, seguido por el sector industrial con 28%. Por su parte, el sector residencial consume sólo un sexto de la electricidad generada (16%).

Sin embargo, aunque el gobierno cuenta con un Plan de Acción de Eficiencia Energética con objetivos al año 2020 y que establece como meta alcanzar un 15% de eficiencia energética al año 2025 (el cual lograría reducir en cerca de 19.500 GWh la demanda eléctrica, evitando así la construcción de centrales de generación equivalentes a una capacidad de 2.600 MW), dicho Plan no se ha puesto en operación, ni se ha dado a conocer a la opinión pública¹⁰.

¹⁰ Comisión ciudadana-técnica parlamentaria <http://www.chilesustentable.net>, 2011

2.8. Mini centrales hidroeléctricas

2.8.1. Central hidroeléctrica de pasada

Una central de pasada es aquella en que no hay acumulación apreciable de agua para accionar las turbinas.

En una central de este tipo las turbinas deben aceptar el caudal natural del río, con sus variaciones estacionales. Si este es mayor a lo necesario, el agua sobrante se pierde por rebalse. En ocasiones, un embalse relativamente pequeño bastará para impedir esa pérdida por rebalse. Normalmente, en una central de pasada, se aprovecha un estrechamiento del río, y la obra del edificio de la central (casa de máquinas) puede formar parte de la misma presa.

El desnivel entre aguas arriba y aguas abajo, es reducido, y si bien se forma un remanso de agua a causa del necesario embalsamiento mínimo (azud), no es demasiado grande. Este tipo de central requiere un caudal suficientemente constante para asegurar durante el año una potencia determinada.



Figura 4. Esquema de una central hidroeléctrica de pasada¹¹.

¹¹ <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo3.html>

2.8.2. Comparación entre una central de pasada y una de embalse

Una central de embalse tiene un “estanque” para acumular una gran cantidad de agua, por lo que en momentos en que no está generando electricidad o que disminuye la demanda, la central acumula el recurso en su embalse. Como explica Baraona¹², gerente técnico de la empresa EPS Ingeniería y Consultoría de Proyectos L, “estas centrales se conocen como centrales con embalse, centrales con regulación o con capacidad de regulación. Chile es un país con una alta cordillera con respecto al nivel del mar. La precipitación que cae en la cordillera normalmente es sólida (nieve). Ahí se forma además hielo que junto con la nieve se derriten en un tiempo muy corto, entre septiembre y enero-febrero. Los embalses se llenan en este periodo y entregan el agua en las épocas de bajos caudales del río. Adicionalmente los embalses regulan el flujo de agua, ya que al tener capacidad de acumulación permiten controlar los caudales que se entregan al río. Por eso, las centrales que generan energía hidroeléctrica y que tienen embalse de estas características, se conocen también como centrales de embalse o con regulación¹³.

2.8.3. Tiempo que demora la construcción de una central hidroeléctrica de pasada

Antes de construir una central hidroeléctrica de pasada, se debe considerar el plazo necesario para desarrollar el proyecto. Esta es etapa previa de construcción.

Desde que se inician los estudios de pre factibilidad del proyecto hasta que finalmente se obtienen los permisos ambientales, además del financiamiento, y se cierra el contrato con el constructor del proyecto hidroeléctrico transcurre entre 5 y 7 años en promedio. Luego, el plazo de construcción esta relacionado directamente con la magnitud y complejidad de la central hidroeléctrica de pasada.

¹² Baraona, Fernando. Gerente EPS. http://www.revistaei.cl/revistas/imprimir_noticia_neo.php?id=826. Consultada 10 de marzo 2012.

¹³ <http://www.revistaei.cl>

Los proyectos que involucran túneles son por lo general más lentos y largos de construir que aquellos que consideran canales de aducción. La fabricación de los equipos electromecánicos, es decir, turbinas, generadora, transformadora, también demoran entre 1 o 2 años en fabricarse. Por lo tanto, sólo la etapa de construcción de proyectos hidroeléctricos de pasada pueden tardar de 2 a 4 años, dependiendo de su magnitud. Si se considera la etapa de desarrollo, este número aumenta a más de 10 años¹⁴.

2.8.4. Cuanta energía pueden generar las centrales hidroeléctricas de pasada

La energía generada por una central hidroeléctrica de pasada es totalmente proporcional con su tamaño.

En general, esta tecnología de energía renovable tiene un factor de planta-porcentaje del año en que operarían a una máxima capacidad de entre un 50% y un 60%. Por ello, una central hidroeléctrica de pasada de 50MW generara al año alrededor de 24GWh, mientras que una central hidroeléctrica de pasada de 100 MW generara al año alrededor de 480 GWh¹⁵.

2.9. Ventajas de las mini centrales hidroeléctricas

A diferencia de los megaproyectos hidroeléctricos como HidroAysén, las mini centrales son una alternativa económica y con mínimos impactos ambientales para las comunidades. Además, les permiten controlar sus recursos energéticos y no hay costos mayores de transmisión.

Frente a los peligros de la energía nuclear, evidenciados tras la catástrofe de la central de Fukushima, y el rechazo ciudadano a los megaproyectos como HidroAysén, las minicentrales hidroeléctricas son una alternativa sustentable, económica y que puede otorgar autonomía a las comunidades en la generación de energía limpia.

¹⁴ <http://pacifichydro.cl>

¹⁵ <http://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/renovablesagua.pdf>. consultada 4 de abril 2012.

La ley chilena define las mini centrales hidroeléctricas como las que generan un monto de energía menor a 20 mega watts y cuyos muros miden 15 metros de alturas como máximo. Orrego¹⁶, indica que en Chile ya existen 36 de estas centrales de energía limpia.

Una experiencia de esto ocurre en caleta Tortel, en la región de Aysén, donde la central hidroeléctrica pertenece a la municipalidad. Así, los comuneros no pagan cuentas de energía eléctrica. Claro que Tortel es una excepción al actual modelo chileno donde las empresas energéticas han subido el precio de sus acciones luego de décadas en que han cobrado más del valor real de la energía a los usuarios¹⁷.

2.10. Autonomía v/s Monopolio

La discusión respecto a las políticas energéticas instalada en los medios masivos se ha olvidado del grado de centralización de las empresas eléctricas en Chile. Las mini centrales ofrecen un camino radicalmente distinto al desarrollar los proyectos energéticos cercanos a las comunidades que consumirán dicha energía.

Las mini centrales no tienen nada que ver con las gigantescas hidroeléctricas. "Hay una ecuación bastante simple: mientras más grande es un proyecto, más impactos genera. Es un asunto de escala, si existen algunas excepciones esto es la regla real", explicó Orrego¹⁶. En oposición a las centrales hidroeléctricas de embalse o de paso, estas construcciones aprovechan el recurso hídrico sin alterar el régimen natural de los ríos.

Las centrales de embalse de gran tamaño tienen un impacto social devastador a juicio de Orrego. "Mientras más grande es el embalse, mayor impacto se genera para la cuenca" -sentencia.

¹⁶ Orreg, Juan Pablo. 2012. presidente de la ONG Ecosistemas y coordinador internacional del Consejo de Defensa de la Patagonia. <http://www.ecosistemas.cl/web/noticias/documentos/1171-las-ventajas-de-las-mini-centrales-hidroelectricas.html>. consultada 13 de marzo 2012.

¹⁷ <http://www.ecosistemas.cl/web/noticias/documentos/1171-las-ventajas-de-las-mini-centrales-hidroelectricas.html>

Es el caso de centrales, como las construidas en el Alto Bío Bío, Pangué y Ralco, cuyos muros alcanzan los 100 o 120 metros de altura, lo que conlleva la muerte de la vida biológica de los ríos, de la cadena alimentaria, del ecosistema que además alimentan los bordes costeros del río. Así, un embalse puede impactar la cadena trófica a más de cien kilómetros del embalse, incluso hasta el mar interior, porque algunas de las especies viviendo allá dependen de los alimentos que hallan en los ríos. Además, ocurre que al levantarse las grandes centrales muchos pueblos, como les pasó a los pehuenches que habitaban en Alto Bío Bío, son desalojados de sus territorios y lugares originarios¹⁷.

2.11. Un sistema más barato

Márquez¹⁸, destaca que las mini centrales son menos vulnerables, tienden a que los precios bajen, son más accesibles, tienen menor impacto ambiental y mejor gestión de las capacidades de oferta eléctrica. Tal vez una de las cosas importantes es que permite una gestión de la demanda que hoy no se halla en la situación actual.

Los problemas que distingue Márquez en el actual sistema eléctrico centralizado con los precios al alza, una falta de competencia que implica rentabilidades extraordinarias, con su efecto en la inequidad social, ya que las estadísticas indican que hay una mayor participación de gastos en energía en el presupuesto de las familias más modestas.

El investigador también acusa un aumento de las carencias energéticas y la pérdida de competitividad del país. A diferencia del modelo actual, las mini centrales no son más caras y menos eficientes que las grandes. El presidente de Acera (Asociación Chilena de Energías Renovables), Rolf Fiebig, precisó que los costos de instalación para una mini central de primera calidad oscilan entre 2.500 y 3 mil dólares por mega watt. Las grandes plantas habituales, con represas son más baratas pero se demoran mínimo 6 y 10 años en funcionar mientras las mini se

¹⁸ *Marquez, Miguel. 2011. Director ejecutivo de Energía Inteligente Ltda.*
<http://www.ecosistemas.cl/web/noticias/documentos/1171-las-ventajas-de-las-mini-centrales-hidroelectricas.html>.

demoran dos años en estar operativas. Hay una recuperación de los costos de inversión en el tiempo con las mini centrales porque empiezan a funcionar antes, el dinero ingresa a los dos años.

Orrego agrega que con la forma quirúrgica de las mini centrales se trata de la cuenca contra el proyecto en vez de los proyectos contra la cuenca. Hay que tomar en cuenta que cada región y lugar tienen un potencial propio¹⁷.

2.12. Energía para las comunidades

Fomentar la creación de proyectos de pequeña escala también conlleva un impacto social positivo, claro que esto depende de un cambio radical en los esquemas de operación de la matriz energética del país.

Las posibilidades en términos de autonomía y desarrollo económico para las comunidades que tienen cercanas sus fuentes energéticas son enormes, así lo destaca Márquez¹⁸. No obstante, ello requiere de cambios en la normativa, capacidades en la gestión y nuevos modelos de negocios.

Son múltiples las ventajas que presentan las minicentrales hidroeléctricas frente a otras fuentes de energía. Entre ellas se pueden destacar:

- Al igual que las grandes centrales hidroeléctricas, las minicentrales, no emiten ningún tipo de gas de efecto invernadero ya que en el proceso de producción de energía no hay ninguna combustión. Sin embargo son inevitables ciertos impactos generados por la implantación de las minicentrales en los ecosistemas asociados al entorno de los ríos. Estos impactos se han visto reducidos considerablemente gracias a la normativa que regula el funcionamiento de las minicentrales, a las mejoras técnicas de los equipos y a los nuevos métodos de operación de las minicentrales. Las mejoras introducidas son económicamente viables y aceptadas socialmente ofreciendo la posibilidad del trabajo conjunto de todos los usuarios de los ríos (Sarasua, 2009).

- Las minicentrales contribuyen al desarrollo sostenible, siendo una energía económicamente rentable. Permite descentralizar la producción total y posibilita el desarrollo de poblaciones dispersas y alejadas de los principales núcleos de desarrollo.
- En la actualidad existen diseños de turbinas que junto con las escalas para peces facilitan la migración de las especies piscícolas. Esto no se puede decir de las grandes centrales donde los grandes saltos y los elevados caudales turbinados impiden en la mayor parte de los casos el paso de los peces a través de las presas.
- Las minicentrales fluyentes pueden asegurar un caudal mínimo (ecológico) que garantiza la vida aguas abajo de la central.
- La construcción de minicentrales contribuye a la descentralización de la generación eléctrica. De esta forma se puede conseguir que, ante una falta de energía de la red principal, se mantenga el suministro en zonas apartadas de la red. Las minicentrales conectadas a las redes de distribución constituyen una fuente de “generación distribuida” que reduce considerablemente las pérdidas de energía durante su transporte (Sarasúa, 2009).
- Las minicentrales hidroeléctricas contribuyen al mantenimiento de las riberas del río, al eliminar los residuos que arrastra la corriente del río. Por otro lado se dispone de la información monitorizada de los indicadores hidráulicos registrados en la central lo cual puede ser una herramienta valiosa para el seguimiento de variables de interés ecológico y ambiental.

La denominada rentabilidad energética, es decir, la diferencia entre la energía producida por la minicentral y la energía necesaria para construir y mantener la central en funcionamiento es elevado. Esto convierte a este tipo de centrales en una de las más rentables en términos energéticos (European Small Hydropower (ESHA), 2005).

En los países en vías de desarrollo las minicentrales adquieren una importancia creciente como factor decisivo en el progreso de regiones aisladas energéticamente. En la actualidad, 50

millones de hogares en todo el mundo se alimentan de minicentrales en zonas rurales (Taylor y Upadhyay, 2005). Países como China, India o Uganda están basando el crecimiento económico de la población dispersa, cuya electrificación es vital para su desarrollo tecnológico y social, en la implantación de minicentrales.

Otros países en los que se comienza a implantar minicentrales hidroeléctricas son Nepal, Tailandia, Brasil y Perú. En estos países el desarrollo de las minicentrales es interesante no sólo por las razones expuestas anteriormente. En muchos casos la escasez de materias primas produce que las economías nacionales se endeuden a causa de los elevados y variables precios de los combustibles fósiles (gas y petróleo). El desarrollo de las centrales hidroeléctricas asegura la no dependencia de estos bienes dado que el combustible, el agua, es gratuito, aunque en algunos casos pueda ser costosa la inversión inicial (Laguna, 2006).

Finalmente puede señalarse que a nivel mundial Asia, con un 68%, es el continente con mayor contribución a la generación de energía a partir de minicentrales hidroeléctricas mientras que el siguiente es Europa con un 23% (Laguna, 2006). Estados Unidos apenas presenta producción con 3.000 MW lo que representa un 15%, instalados (Sarasúa, 2009).

2.13. Instalación de Minicentrales

El consumo mundial de energía aumenta rápidamente y las energías renovables jugarán un papel más importante en el futuro. Las minicentrales hidroeléctricas tienen un gran potencial sin explorar, sobre todo en las zonas subdesarrolladas y remotas. El potencial mundial de este recurso aun no se ha evaluado en detalle, la ubicación exacta de los posibles puntos débiles que aun no han sido asignadas todavía con potencial energético.

La precipitación global y los datos de esorrentía tienen que ser corregidos, evaluados y procesados. Los modelos digitales de elevación deben ser ajustados con fines hidrológicos para obtener direcciones de flujo. Los datos de esorrentía, combinada con la dirección de flujo debe

generar la acumulación del flujo exacto en una cuadrícula. El flujo acumulado se traduce en la descarga del río. La descarga predice a partir del modelo que tiene que ser validados por la medición de desempeño de los pequeños arroyos y comparar los vertidos¹⁹.

2.14. Sistema de información geografía (SIG)

Un Sistema de Información geográfico (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georreferenciada.

La mayor utilidad de un sistema de información geográfico está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis. La construcción de modelos de simulación como se llaman, se convierte en una valiosa herramienta para analizar fenómenos que tengan relación con tendencias y así poder lograr establecer los diferentes factores influyentes²⁰.

Los mismos autores, indican que el campo de aplicación de un SIG es sumamente variado, de hecho toda información que contenga una referencia geográfica está sujeta a ser analizada a través de un SIG para el manejo de los recursos naturales, esto incluye todos los componentes relevantes de la biofísica terrestre, como vegetación, suelo, topografía, hidrografía,

¹⁹ *www.nedeco.nl, 2012 <http://www.geoinfo.cl/pdf/sig.pdf>. consultada 15 de abril 2012.*

zonas climáticas, entre otras. En un SIG, cada componente del paisaje terrestre está caracterizado por una capa a la que se le asocia una tabla de datos, conteniendo la información más relevante de dicho componente. La suma de todas las capas y de sus tablas asociadas constituye una base de datos de un SIG, la que puede ser manipulada, representada y analizada de diferentes maneras para cumplir con un objetivo preciso (Felicísimo, 1992).

En la actualidad, existen muchos sistemas informáticos implementados para resolver el análisis de cuenca e hidrología tales como PCIs, ESRI, IDRISI, GRASS, MAPINFO, PC ARC/INFO, (FAO,1996).

Para este estudio se utilizaron dos software para la obtención de la red hidrológica de los cursos de agua a estudiar A continuación se presenta un cuadro comparativo de las funciones para análisis hidrológicos básicos presentes en los programas ArcMap (en las extensiones Hydrology) y en el programa Google Earth

Cuadro 3 Funciones Hidrológicas de los Programas SIG utilizados en el presente trabajo

Funciones Hidrológicas	Google Earth	Hidrology de ArcMap
Detección de áreas planas	√	√
Detección de áreas de drenaje interno	√	√
Llenado de áreas de drenaje interno	-	√
Dirección de flujo	-	√
Longitud de flujo	√	√
Acumulación de flujo	-	√
Cambio de flujo	√	-
Máximo flujo	√	-
Designación de quebradas	√	√
Áreas de contribución	√	√
Cuencas	-	√
Atributos de las cuencas	-	√

3.15. Aplicación de SIG en el área hidroenergética.

El estudio para la evaluación preliminar del potencial hidroeléctrico de Perú – HIDROGIS, para el rango de 1 a 100 MW, tiene por objetivo general la realización de la evaluación preliminar del potencial del recurso hídrico nacional. La metodología requerida para el desarrollo del estudio, se apoya en la utilización de bases de datos existentes, que incluyen temáticas como planialtimetría, clima, hidrometeorología, hidrología, suelos, etc, cuyos datos permita incorporar, ampliar y/o completar la información provenientes de mediciones realizadas por las redes de monitoreo existentes. Toda la información se articula en un contexto espacial, utilizando la plataforma de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), posibilitando la obtención a nivel de región hidrográfica, cuencas y tramos de ríos del potencial hidroeléctrico para todo el país. En donde los productos finales son un atlas de potencial hidroeléctrico del Perú e información visual en mapas del potencial hidroeléctrico nacional.

3.15.1. Metodología general y herramientas de trabajo

La evaluación preliminar del potencial hidroeléctrico teórico para el Perú se ha desarrollado a partir de la generación de dos componentes esenciales del estudio, la creación de un Modelo Digital del Terreno (MDT) para todo el Perú y la confección de un sistema de ecuaciones de regresión múltiples que han permitido regionalizar los principales parámetros hidrológicos para poder definir el caudal medio anual disponible en cualquier punto de toda la cuenca hídrica Peruana. Sobre este soporte se ha realizado la evaluación del potencial hidroeléctrico por tramos de ríos para todas las cuencas del territorio del Perú. En esta evaluación se ha tenido en cuenta aquellas áreas de concesión de centrales hidroeléctricas (ya sea centrales existentes o en estudio), zonas de amortiguamiento, áreas naturales protegidas de Administración Nacional y áreas naturales protegidas de Administración Regional.

Este estudio se centró en las pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas del rango 1 a 100 MW, con dos intervalos 1 a 20 Mw y 21 a 100 Mw. En tal sentido se plantea la necesidad de identificar los 100 mejores potenciales proyectos en estos rangos de potencias. La selección de

estos potenciales aprovechamientos se fundamenta en un nuevo concepto: potencial hidroeléctrico técnico, el cual representa una medida de base técnico-económica, del potencial del recurso que se podría llegar a utilizar.

3.15.2. Aplicación del SIG

El Sistema de Información Geográfica tuvo como objetivo principal el desarrollo de la cartografía básica y temática para sustentar la ejecución de los trabajos del estudio. Los objetivos específicos del SIG se detallan a continuación:

- Almacenar información temática espacial recopilada durante el desarrollo del proyecto de manera de facilitar su identificación, uso y actualización (por parte de los organismos involucrados y destinatarios de la información).
- Generar y post-procesar un Modelo Digital de Terreno (MDT).
- Asistir en los análisis temáticos llevados a cabo durante el proyecto, como por ejemplo la determinación del potencial hídrico y la identificación de potenciales emplazamientos de pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas.²¹

²¹ http://sigfoner.minem.gob.pe/hidro/Site/hgis/atlas/01_Atlas_texto.pdf. consultada el 25 de junio 2012.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Área de estudios:

Comuna de Lonquimay

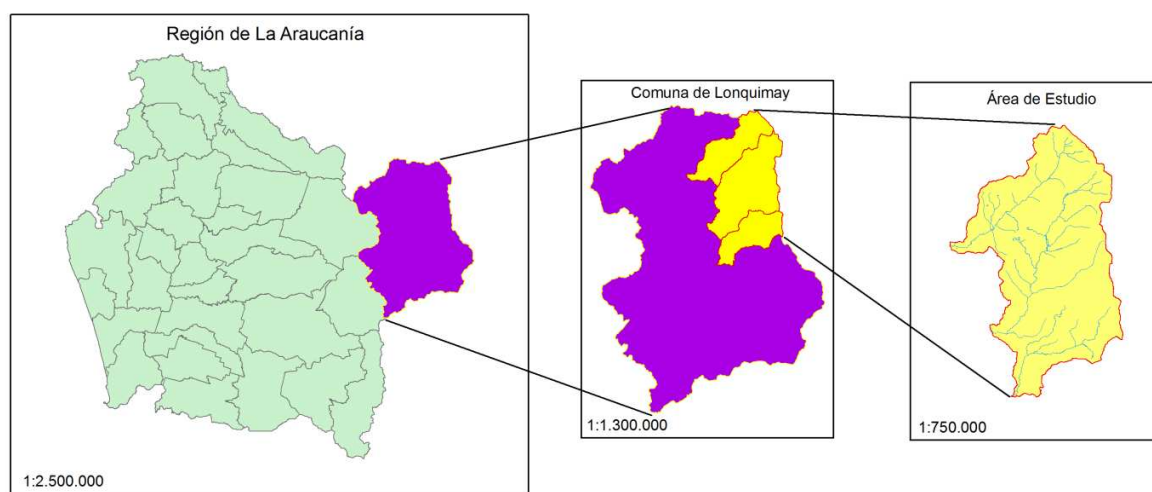


Figura 5. Área y unidades de estudio (Sanhueza, 2012).

3.1.1. Antecedentes de la comuna

Lonquimay pertenece a la Provincia de Malleco, siendo la comuna de mayor tamaño dentro de la Región de la Araucanía. Geográficamente se encuentra en la sub-cuenca del Río Biobío, que nace en dos de sus lagos, Galletué e Icalma, y es parte de la Patagonia oriental. Se encuentra rodeada por volcanes y por la Cordillera de Los Andes. Limita con la República de Argentina, contando con dos pasos internacionales, Icalma y Pino Hachado, el último de los cuáles forma parte del futuro Corredor Bioceánico Trasandino, lo cual eventualmente conllevará importantes beneficios comerciales para la comuna. La ciudad de Lonquimay fue fundada el 25 de Enero de 1897 bajo el nombre de Villa Portales, pero posteriormente tomó su actual nombre

de origen pewenche, Lonquimay. La mayoría de sus habitantes son descendientes de familias pewenches, habitantes originarias del territorio que mantienen sus costumbres y usanzas, y de familias chilenas repatriadas por el gobierno argentino desde la provincia de Neuquén²².

Según proyecciones del INE para el año 2009, la población total de Lonquimay es de 11.341 personas. En contraste con la Región, que cuenta con una población mayoritariamente urbana (68%), Lonquimay cuenta con una población mayoritariamente rural (66,5%). Por otra parte, se destaca el predominio de la étnia pewenche (63,5%) y una inclinación hacia el género masculino (54%). Estos datos se exponen en la Cuadro 4.

Cuadro 4. Población de Lonquimay según sexo, urbano-rural, etnia.

Total	Mujeres	Hombres	Urbana	Rural	Pewenche	Sin etnia
11.341	5.208	6.133	33,5%	66,5%	63,5%	36,5%

Fuente INE, 2009.

La actualización del Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO, 2009) registra una tendencia al crecimiento de la población en el centro urbano de Lonquimay y en el sector de Río Pedregoso, lo que da cuenta de un importante éxodo de población rural hacia los centros más poblados de la comuna. El sector de Liucura también muestra un crecimiento importante, gracias a la demanda turística en torno al Lago Icalma y al paso fronterizo del mismo nombre. Por otra parte, hay evidencias de un constante flujo migratorio hacia el exterior de la Comuna y de la Región, en busca de mejores expectativas laborales.

Para efectos de análisis y planificación territorial, el PLADECO divide la comuna de Lonquimay en cuatro macro-territorios. Ellos son: Macro-territorio Norte, constituido por Troyo, Llanquén, Contraco, Ranquil-Llames, Pelehue y Pehuenco Norte; Macro-territorio Centro-Sector urbano, constituido por Lonquimay y Sierra Nevada; Macro-territorio Sur, formado por Lolén, El Tallón, Pedregoso, Quinquen, Galletué, Huallenmapu, Icalma, Cruzaco y

²² www.mlonquimay.cl

Marimenuco; y Macro-territorio Alto Biobío, formado por Piedra Blanca, Huallipulli, Tralilhue, Pichipehuenco, Liucura, Mitrauquen Alto y Mitrauquen Bajo (SEPADE. 2010).

3.1.2. El clima

El mapa agroclimático de Chile (CIREN, 1990), considera el clima de Lonquimay como polar alpino de tundra por efectos de altura, con invierno frío y agroclima de cordillera central. Indica, además, que existen en Lonquimay estaciones muy marcadas, con veranos cortos y calurosos, caracterizados por altas temperaturas; en cambio, las temperaturas mínimas absolutas, descienden durante todos los meses de los 0°C, por lo que no existe periodo libre de heladas. Basada en clasificación climática de Koeppen, según IGM presenta clima templado, frío y lluvioso para sus zonas más bajas; en cambio, para las zonas altas, presenta climas de tundra por efecto de altura, con nevadas frecuentes en los meses de mayo a agosto. Se indica con respecto a las bajas t° que estas, en periodos invernales, pueden descender de los -20°C^{23} .

3.1.3. Descripción Agroecológica

La descripción de las zonas agroecológicas para la IX Región de la Araucanía de Rouanet et al. (1988), ubica a Lonquimay en el área de la Cordillera Andina, indicando que esta zona agroecológica es la que presenta el menor potencial de producción de la región. Las praderas naturalizadas o naturales que existen en el área, son bastante estacionales en su producción (Rouanet et al. 1988), debido a las bajas temperaturas y posición altitudinal que define la vegetación. Las praderas son escasas, ubicándose en los valles y otras zonas bajas, como terrazas de ríos. Las especies utilizadas en la zona son fleo, pasto ovillo, trébol blanco y alfalfa.

²³ <http://www.bosquedelomalleco.cl/valle-de-lonquimay.html>. Consultada el 27 de abril 2012.

3.1.4. Fisiografía

Las lagunas y los lagos existentes en la zona se deben a pliegues de la corteza terrestre, además de influencia de capas impermeables circundantes, más que a efectos de glaciaciones, siendo mínima la presencia de morrenas en lugares aledaños.

El material parental es roca de tipo basáltico- andesítica, con presencia variable de cuarzo. Se suma a estos elementos constituyentes, los productos de reiteradas y recientes erupciones volcánicas, como lava, casquijos, piroclastos y pómez, todos en diferentes cantidades y grados de incorporación a los suelos de los sectores de Lonquimay (Rouanet *et al*; 1988).

3.1.5. Geomorfología

El Instituto Geográfico Militar (IGM. 1993), indica que esta zona presenta geomorfología caracterizada por cordones montañosos de Los Andes del núcleo central.

La principal sucesión montañosa es la Cordillera de Las Raíces, constituida por una cadena de montañas que se desprenden desde la zona sur de la VIII Región, corriendo en dirección Sur-Este y encerrando el valle de Lonquimay.

La topografía del sector es bastante heterogénea, existiendo una sucesión de montañas con cumbres escarpadas, cajones cordilleranos, serranías, depresiones y valles.

La zona Sur de la comuna presenta características geomorfológicas más cercanas a las del territorio Argentino, con colinas y pendientes suaves y extensas pampas estepáricas (Rouanet *et al*; 1988).

3.1.6. Suelo

Los suelos de los valles corresponden a vegas de tipo trumao, de formaciones volcánicas recientes, caracterizados por bajos contenidos de materia orgánica y mucha susceptibilidad a erosionarse dada su alta fragilidad. (BESOAIN, 1992)²⁴, menciona a la zona de Lonquimay como un ambiente agrovulcánico, con adición periódica de ceniza y piroclastos al suelo, producto de erupciones volcánicas ocurridas. El citado autor indica que así es la manera como se forman y renuevan estos suelos.

3.1.7. Vegetación

La fitogeografía más característica de la zona, esta representada por bosques higrófito de Ñirre (*Nothofagus Antartica*), y Lenga (*Nothofagus Pumilio*), así como bosques puros de Araucaria (*Araucaria Araucana*).

La vegetación predominante de zonas altas, después de los deshielos, corresponden a coironales, formados por la asociación de gramíneas tales como *Stips* sp, *Festuca* sp y *Poa* sp. En zonas altitudinales mas bajas, las asociaciones mas frecuentes corresponden a coirón-ñirre-quila y *colletia* sp-*discaria* sp- gramíneas²⁵.

3.1.8. Hidrografía.

La zona de Lonquimay posee principal importancia hidrológica en la región sur del país, ya que aquí se originan dos de las principales cuencas hidrográficas de esta parte de Chile; estas son: la cuenca del Rio Imperial, en la IX Región, y la del Rio Bio-Bio, que avanza por la base de la cordillera de los andes hacia el norte, donde esta la central hidroeléctrica de Paso Pangué,

²⁴ Besoain, 1992. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR14261.pdf>. consultada 15 de marzo del 2012.

²⁵ <http://www.bosquemodelomalleco.cl>

internándose en el llano central en la VIII Región. Ambas cuencas son importantes centros urbanos²⁶.

3.2. Unidades de estudio.

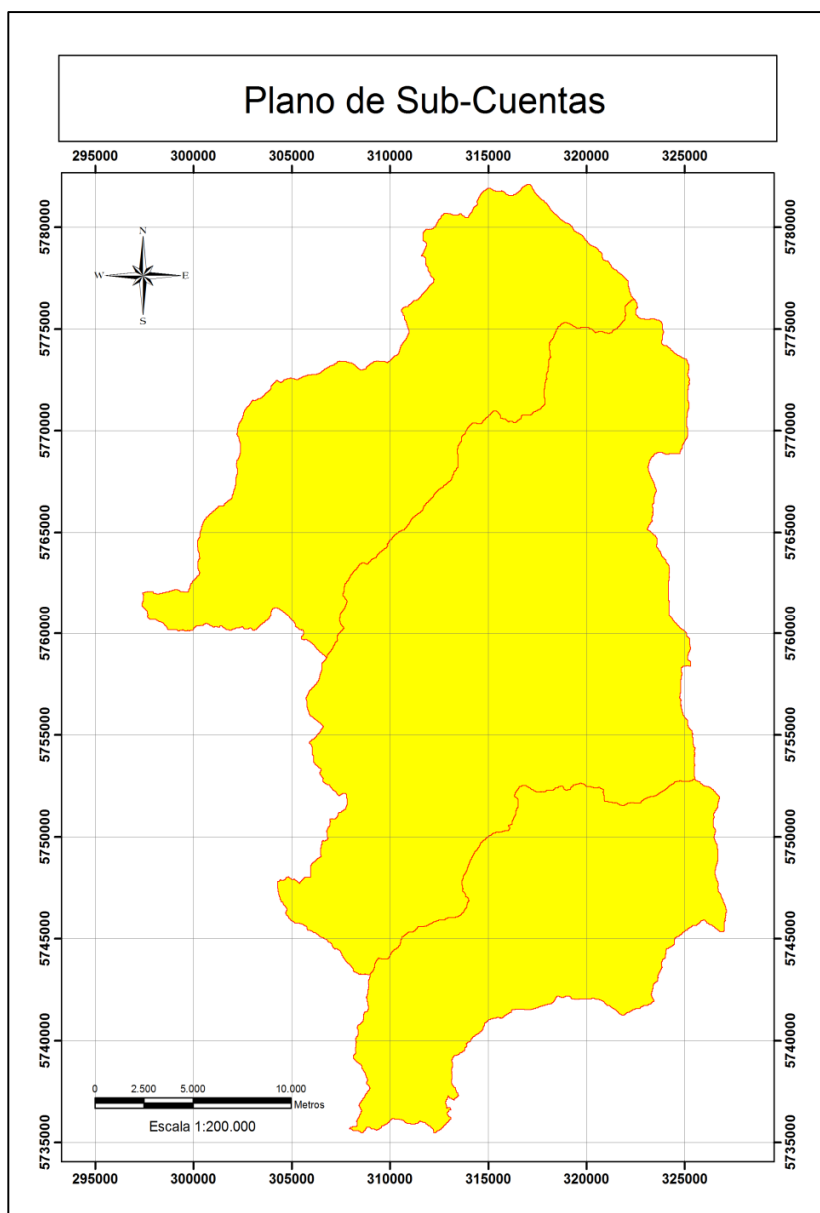


Figura 6. Plano de las 3 Sub-cuencas. (Sanhueza, 2012).

²⁶ <http://www.bosquedelomallico.cl/valle-de-lonquimay.html>. consultada el 13 de marzo del 2012.

3.2.1. Río Mitrauquén, sector Cajón del Ancho.

Posee una superficie de 10.918 ha y está ubicada entre los 38°22' y 38° 26' S, a 40 km al este de la ciudad de Lonquimay, formando parte del límite internacional, a una altitud de 1.600 m s.m. Esta veranada es parte de la subcuenca del río Mitrauquén, específicamente en su cabecera o parte superior (Ahumada *et al.*, 1999).

La topografía está definida básicamente por el origen glaciar del sector, donde se manifiesta un típico valle en U. En la parte mas baja, influenciado por el río antes citado, se desarrolla un extenso mallín con especies como el junquillo (*Juncus lesueuri Boland.*), trébol blanco (*Trifolium repens L.*) y cortaderas (*Carex spp.*), asociado a coironales con especies de *Stipa* adaptadas a condiciones secas y de baja productividad. En sectores altos se expresan zonas con suaves pendientes aptas para el pastoreo, dominadas por matas de coirón (Ahumada *et al.*, 1999).



Figura 7. Río Mitrauquén

3.2.2. Río Rahue, sector Rahue:

Con una superficie de 15.203 ha se ubica entre los 38° 15' y 38° 22' S, en la cabecera del río Rahue, a 40 km al noreste de la ciudad de Lonquimay en el límite entre Chile y Argentina.

Por las características orográficas que definieron el paisaje en épocas de formación, esta veranada se caracteriza por presentar cajones montañosos de gran altitud y pendiente, en las que se distinguen dos tipos de comunidades vegetales. En sectores de montaña es frecuente encontrar formaciones boscosas con predominio de Lengua (*Nothofagus pumilio*), en las cumbres de cerros y acantilados comunidades de Araucaria (*Araucaria araucana*), y bosques de Ñirre (*Nothofagus antartica*) en los sectores más bajos. Asociado a este tipo de formación, fundamentalmente por pendiente y altitud, es frecuente encontrar sectores desprovistos de vegetación, roca desnuda y zonas de nieve. La segunda formación está constituida por vegetación herbácea que puede o no estar asociada a un componente arbustivo; dentro de este grupo es factible encontrar dos tipos de praderas: mallines con especies tales como el Junco de espiga (*Eleocharis pachycarpa* Desv.), Cortadera (*Carex gayana* Desv.), Maillico (*Caltha sagittata* Cav.), Scirpus cernuus Vahl y Gamocarpha alpina (P. et E.) H.V. Hansen, que se ubican en sectores planos de mesetas sobre los 1.900 m s.m., y formación esteparia de coironal-matorral, con especies como Yaqui (*Colletia spinosa* Lam.), Neneo (*Mulinum spinosum* (Cav.) Pers.), Ñirre arbustivo, Quililla, romerillo (*Chiliotrichum rosmarinifolium* Less.), Chacay (*Discaria trinervis* (Gill.ex H. et A.) Reiche) y herbáceas del género Stipa, situados en los márgenes del río Rahue, próximos a las riberas del mismo, correspondiendo a sector de lomajes con un 12% de pendiente. En general, los suelos son de textura arenosa a franco-arenosa, con excepción de vegas con particulado más fino y mayor acumulación de materia orgánica en el perfil (Ahumada *et al*, 1999).



Figura 8. Rio Rahue.

3.2.3. Río Ranquil, sector Pelehue:

Posee una superficie de 7.279 ha y se ubica en el sector más noreste de la comuna de Lonquimay, a unos 50 km de la ciudad del mismo nombre, entre los 38° 06´ y 38° 10´ S, próximo a la frontera entre Chile y Argentina y la VIII Región, sector Alto Bio Bio a 1.400 m s.m., en la cabecera del río Ranquil (Ahumada *et al*, 1999).

Existen dos situaciones fisiográficas en el área, representadas por sectores de pendiente (cerros) en que predomina vegetación arbóreo-arbustiva con diferentes grados de densidad y cobertura, con especies como Lengua, Ñirre, Quililla (*Chusquea aff. Culeou E. Desv.*), Michay (*Berberis linearifolia Phil.*) y Zarparrilla (*Ribes cucullatum H. et A.*), con presencia de sectores rocosos y de nieves eternas en los lugares más altos. La otra unidad está representada por sectores de quebradas entre laderas de cerros, en la que se desarrolla una formación arbustiva asociada a una estrata herbácea típica de altura, con especies como el Coirón (*Festuca scabriuscula Phil.*), Vinagrillo (*Rumex acetosella L.*) y Pasto miel (*Holcus lanatus L.*) (Ahumada *et al.*, 1999).

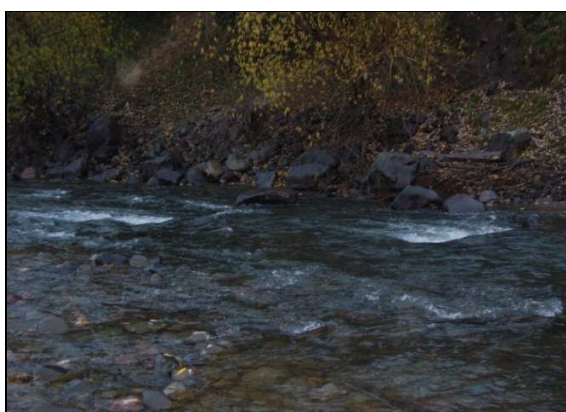


Figura 9. Río Ranquil.

3.3. Materiales cartográficos, equipos y programas computacionales.

Para realizar el presente trabajo, los materiales cartográficos disponibles, las cubiertas digitales, los programas y equipos computacionales así como los instrumentos para las mediciones en terreno fueron los siguientes:

3.3.1. Para laboratorio.

- Plano de uso actual. IGM, 1993.
- Programa Google Earth 6.1.0.5001
- Cubiertas de Curvas de nivel cada 25m, Uso actual, Hidrografía, límites comunales, catastro de bosque nativo 2007.
- Modelo digital de elevación. (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>)
- Computador Personales DirectX 9
- Programa Excel 2007
- Programa ArcMap GIS, Versión 9.3.
- Programa SPSS Version 18
- Extensión Hydrology del Programa ArcMap 9.3.

3.3.2. Para terreno.

- Huinchas métricas de 50 m marca Lufkin.
- GPS, marca Garmin, modelo Tracker.
- Molinete, marca Nissuko
- Mira
- Cámara fotográfica
- Traje de pesca

3.4. Metodología

3.4.1. Recopilación de información

Se realizó una búsqueda en <http://scholar.google.cl/>, usando las palabras claves microcentrales hidroeléctricas, minicentrales hidroeléctricas, comuna de Lonquimay, rio Ranquil, rio Rahue, rio Mitrauquen, PLADECO de Lonquimay, información geofísica de la comuna de Lonquimay, aplicación de SIG, protocolo energético de chile, DEM para chile, imágenes satelitales, muestreo de caudal, micro hydroelectric power station, Renewable energy, small_hydel, Small Hydro.

3.4.2. Definición de área de estudio

La definición del área de estudio se realizó principalmente a través de revisión de antecedentes en literatura, información de instituciones públicas, entre otras y de entrevistas con informantes calificados, en donde según estudios anteriores (realizados por el experto) arrojaron como resultado un gran potencial de los cuerpos de agua que se definieron como material de estudio.

3.4.3. Identificación de los cursos de estudio

Según la información recopilada anteriormente y a partir de una previa sistematización se revisó información primaria y secundaria, tanto digital como física para caracterizar y describir las unidades de estudio. En este proceso se pudo identificar los cursos de agua en terreno y las características que presentan los distintos elementos naturales o artificiales que están en su entorno.

3.4.4. Delimitación de cuerpos de agua

Una vez identificada el área se realizó una digitalización en Google Earth de los cursos de agua en toda su extensión geográfica. Se delimitaron las cajas de ríos completas (por ambos lados) de los cursos principales, y los tributarios del curso principal se dibujaron con una línea sobre él.

3.5. Análisis SIG

Se realizó un completo análisis hidrológico de las subcuencas basado en el modelo digital de elevación. Para ello se utilizaron algunas herramientas del arctoolbox, específicamente las de spatial analyst tools en su modulo de hydrology.

A continuación se describen los procesos secuenciales para la delimitación de cuencas. Este proceso se realizó con las herramientas de ARCGIS, Arcboxtools, y estas se utilizaron de la siguiente forma secuencial.

3.5.1. Relleno:

Con frecuencia, los sumideros (y picos) representan errores debido a la resolución de los datos o el redondeo de elevaciones a valor entero más cercano. Eliminar imperfecciones (huecos y sumideros) del ráster con la herramienta Fill.

Los sumideros se deben rellenar para garantizar la representación correcta de cuencas y arroyos. Si los sumideros no se rellenan, una red de drenaje derivada puede ser discontinua.

La cubierta de entrada es el modelo digital de elevación. La herramienta Rellenar utiliza los equivalentes de varias herramientas, como flujo focalizado, Dirección de flujo, Sumidero, Cuenca hidrográfica y Relleno zonal, para ubicar y rellenar sumideros. La herramienta

itera hasta que se rellenan todos los sumideros dentro del límite z especificado. A medida que se rellenan los sumideros, se pueden crear otros en los límites de las áreas rellenas, que se eliminarán en la siguiente iteración (figura 9). Se utilizó esta herramienta para rellenar celdas en un tramo de la superficie para eliminar pequeñas imperfecciones en los datos. Las celdas tienen una dirección de drenaje indefinido, no hay celdas más bajas que la rodean. El punto de fluidez de la celda límite con la elevación más baja para el área que contribuye a un curso de agua. Si el curso se llena de agua, este es el punto en donde el agua se derramará. Un Z límite especifica la profundidad máxima de una celda que se llena. El Z límite debe ser mayor que cero. Todas las celdas que son menores a la del Z límite, inferior a su vecino adyacente, se llena hasta la altura de sus puntos de fluidez²⁷.

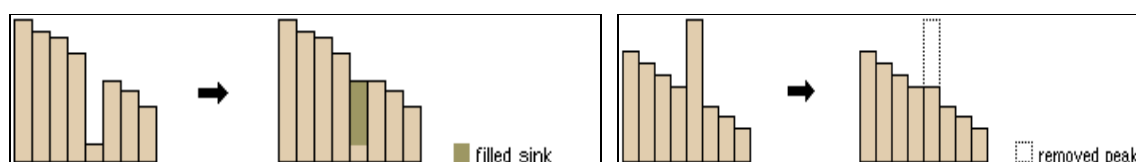


Figura 9. Relleno de celdas (herramienta Fill, Arcgis 9.3)

3.5.2. Dirección de flujo:

Se estableció la dirección de flujo hidrológico de la pendiente con la herramienta Flow Direction. La cubierta de entrada para la utilización de esta herramienta es la obtenida anteriormente (Fill).

El flow direction se utiliza para crear un ráster de dirección de flujo desde cada celda hasta su vecina con la pendiente descendente más empinada.

La salida de la herramienta de dirección de flujo es un raster cuyos valores van de 1 a 255.

²⁷ <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Fill%20works>

El ráster de caída muestra la proporción del cambio máximo en la elevación desde cada celda a lo largo de la dirección del flujo hasta la longitud de la ruta entre centros de celda, expresada en porcentajes²⁸.

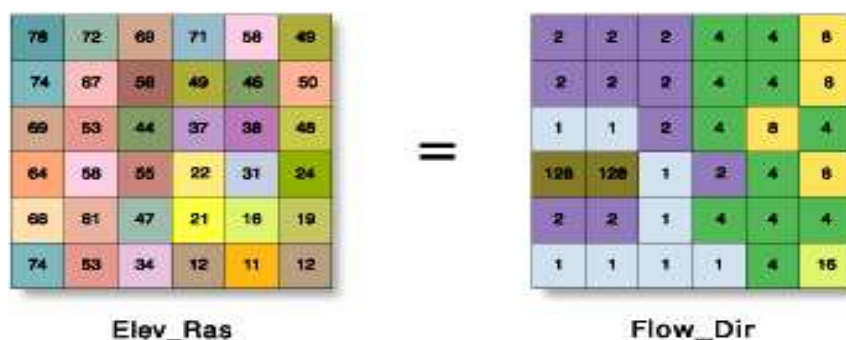


Figura 10. Dirección de flujo (herramienta Flow directions, Arcgis 9.3)

3.5.3. Acumulación de flujo:

Se determinó la acumulación de flujo de las celdas que fluyen hacia cada celda descendiendo sobre la pendiente por medio de la herramienta Flow Accumulation. Para utilizar esta herramienta necesitamos el resultado de la etapa anterior (ráster de flow direction).

Esta herramienta entrega un cálculo del flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente en el ráster de salida. Si no se proporciona un ráster de peso, se aplica un peso de 1 a cada celda, y el valor de celdas en el ráster de salida es el número de celdas que fluye en cada celda²⁹.

²⁸ http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Flow_Direction

²⁹ http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Flow_Accumulation

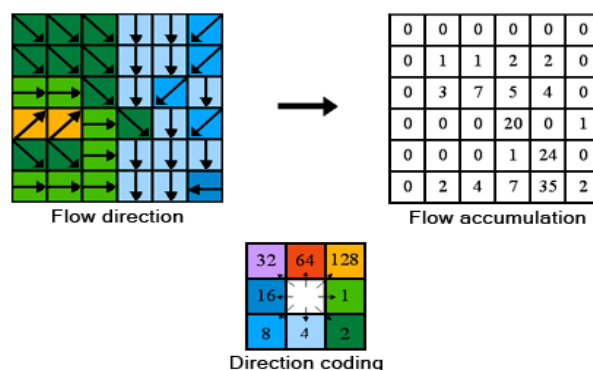


Figura 11. Flujo acumulado (herramienta Flow Accumulation, Arcgis 9.3)

Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar canales de arroyos. Esto se analiza en Identificación de redes de arroyos. Las celdas con una acumulación de flujo de 0 son alturas topográficas locales y se pueden utilizar para identificar crestas.

3.5.4. Condicional:

Se construyó automáticamente la red hidrográfica por medio de una condicional, se utilizó $\text{value} > 350$, este valor depende del tamaño del pixel (30x30) y define la longitud de los cursos de agua en mínimo de datos para este proceso de utilizó la herramienta Condition. Con la herramienta le permite controlar el valor de salida para cada celda en función de si el valor de la celda se evalúa como verdadero o falso en una sentencia condicional especificado³⁰.

3.5.5. Interpolación de cubiertas

Se determinó el punto de drenaje de la micro cuenca, creando un shapefile tipo punto, luego se interpoló con el resultado de la herramienta Fill para obtener sus coordenadas en tres dimensiones.

³⁰ http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?topicname=con_

Esta herramienta de interpolación de los valores z para una clase de entidad sobre la base de una trama subyacente, red irregular triangulada (TIN), conjunto de datos o de la superficie del terreno³¹.

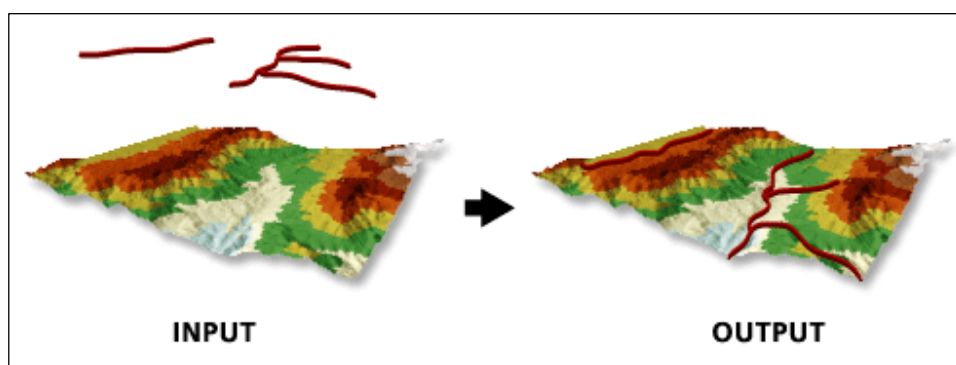


Figura 12. Mezclas de información (herramienta Interpolate shape, Arcgis 9.3)

3.5.6. Watershed

Finalmente para la delimitación de las micro cuencas se usó la herramienta Watershed usando el ráster creado con Flow direction y el punto de drenaje interpolado.

Determina el área contribuyendo por encima de un conjunto de celdas en una trama. El valor de cada cuenca se toma del valor de la fuente en la trama de entrada o característica verter datos de puntos. Para la generación automática de watersheds – cuencas hidrográficas -, se requiere principalmente de la dirección de flujo y el enlace de cursos o “stream link”.

Ciertamente, no es el único método de generación de unidades de drenaje o watersheds, ya que existen otras técnicas que emplean datos de tipo³²puntual como los puntos de desembocadura o “pour points”, que se emplea para generar de forma controlada por el usuario la unidades de drenaje o watersheds.

³¹ [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=1222&pid=1221&topicname=Interpolate_Shape_\(3D_Analyst\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=1222&pid=1221&topicname=Interpolate_Shape_(3D_Analyst))

³² <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Watershed%20works>

En ArcGis, este proceso se realiza con la utilidad “Watershed” del “ArcToolbox”, en el ítem “Hidrology” de “Spatyal Analyst”.

Esta herramienta solicita como información de entrada: la dirección de flujo y los cursos de agua “stream link”, generados en los pasos anteriores. En la opción “Input flow direction raster” se ingresa el nombre del tema que contiene la información de la dirección de flujo; dejando el nombre del tema “stream link”, para la opción: “Input raster or feature pour point data”. Finalmente, se indica el nombre de un tema de salida, que contendrá las unidades de drenaje o watersheds requeridos.

El producto obtenido es un ráster, en donde las cuencas son presentadas por agrupaciones de pixeles de igual valor; esto puede hacerse evidente asignando colores diferentes a las cuencas, a través de la ventana “Layer Propperties” del tema, cambiando el modo de presentación a “Unique Values”.



Figura 13. Delimitación de cuencas (herramienta Wathershed , Arcgis 9.3)

3.5.7. Modelamiento de caudal

ModelBuilder es una aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Los modelos son flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocésamiento y suministran la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada. ModelBuilder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo de trabajo.

Una vez determinada la extensión, en superficie de las cuencas hidrológicas en estudio, se realizó un modelo en la herramienta Modelbuilder del programa Arcgis 9.3, donde se utilizaron coberturas digitales de información meteorológica modelada del sitio de internet Worldclim como precipitaciones mensuales. Además, se utilizó la información recopilada anteriormente de límites de la comuna de Lonquimay y modelo digital de elevación de la Región de La Araucanía.

Para utilizar las cubiertas de precipitaciones y de radiación solar se realizó un ajuste dentro del modelo ya que tanto los tamaños de celdas de ambos ráster eran muy distintas, las unidades de medidas eran distintas, así que se utilizó la fórmula $Prec_1 * (900/2592000000)$, para transformar las precipitaciones de mm/mes a m/seg en un tamaño de pixel de 30X30.

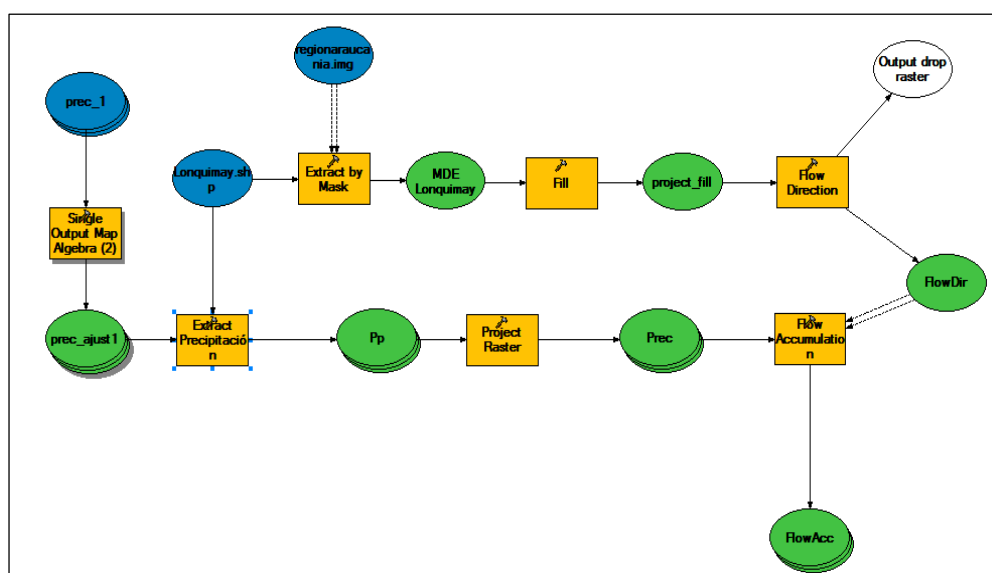


Figura 14. Modelo de análisis SIG

3.6. Mediciones de caudal en terreno

Para la toma de datos de caudal en terreno se utilizó el método de velocidad/superficie.

Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal. En este método se utiliza la ecuación de continuidad.

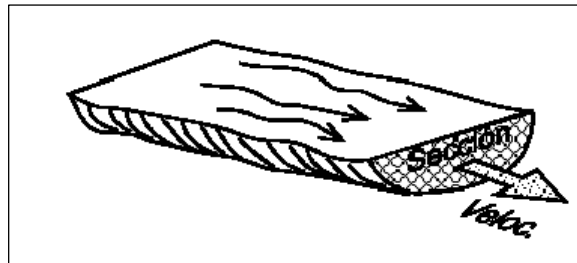


Figura 15. Velocidad del agua en una sección del río, (Dussaubat y Vargas, 2006).

El caudal en una sección transversal de área A está dado por:

$$Q = \iint_A \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} \quad (3.1)$$

En donde la integral se aproxima sumando los caudales incrementales calculados para cada medición i , $i = 1, 2, \dots, n$, de velocidad V_i y profundidad D_i . Las mediciones representan valores promedio a lo largo de un ancho Δw_i del cauce, luego el caudal se calcula como (Dussaubat y Vargas, 2006):

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i \cdot D_i \cdot \Delta w_i \quad (3.2)$$

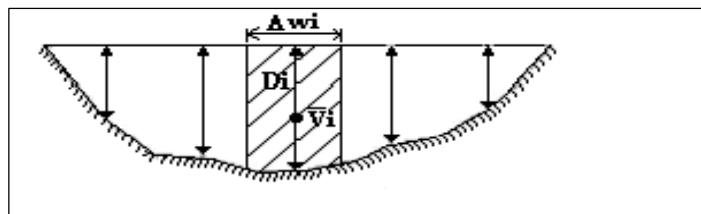


Figura 16. Cálculo de caudal en un cauce natural (Dussaubat y Vargas, 2006).

La unidad métrica es m^3/s . Como m^3/s es una unidad grande, las corrientes menores se miden en litros por segundo (l/s).

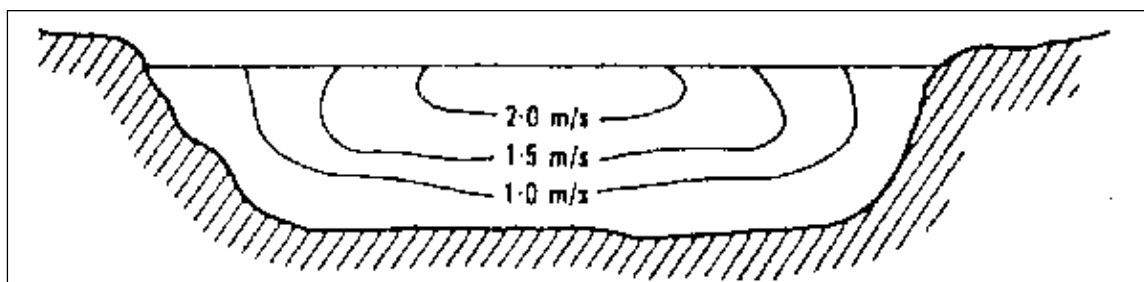


Figura 17. Ejemplo de curvas isotáquicas en un cauce (FAO, 1996).

Para la determinación exacta de la velocidad se utilizó un molinete, en donde la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado, ya sea con un contador digital o como golpes oídos en los auriculares que lleva el operador. (FAO, 1997).

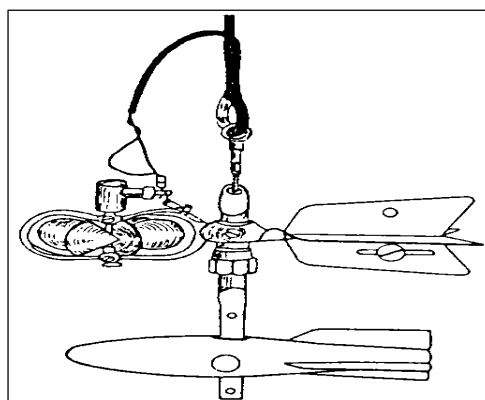


Figura 18. Molinete tipo taza cónica (FAO, 1996).

El molinete es un instrumento que tiene una hélice o rueda de cazoletas, que gira al introducirla en una corriente de agua. El de tipo de taza cónica gira sobre un eje vertical y el de tipo hélice gira sobre un eje horizontal. En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado.

Los molinetes pueden ir montados en soportes o suspendidos de cables. Antes de ser usados en el campo, deben ser calibrados por el fabricante para determinar la relación entre la velocidad de rotación de la hélice y la velocidad del agua. La sección elegida para la medida con el molinete debe estar situada en un tramo recto y de una sección lo más homogénea posible a lo largo de dicho tramo.

Un molinete mide la velocidad en un único punto, es por esto que, para calcular el caudal total se deben realizar varias mediciones. Según sea el grado de precisión que se quiera obtener en el aforo, se tomaron mayor o menor número de puntos de medida en la sección. Para obtener una alta precisión, se eligieron mayor número de verticales en la sección y se calcula la velocidad media en cada vertical. Para cada sección entre dos verticales de medida, el área se calcula como el producto del promedio del alto por el ancho, y la velocidad media como el promedio de las velocidades medias en las verticales. El caudal de cada sección resulta directamente como el producto del área y la velocidad media, mientras que el caudal total se calcula como la suma de los caudales entre verticales (Dussabat y Vargas, 2006).

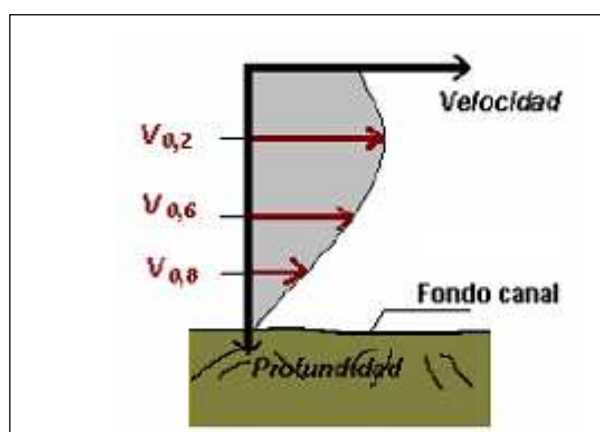


Figura 19. Determinación de la velocidad media en la vertical (CNR, 2009).

Para esta medición se utilizó la planilla de registro de datos del Ministerio de Agricultura, más precisamente del ITC-09 (instructivo de aforo a canales no revestidos) Ley 18.450, comisión Nacional de Riego (ver Anexo 1).

3.6.1. Identificación de los cursos de agua en terreno

Una vez teniendo los mapas hidrológicos, tanto de la fotointerpretación como del análisis SIG, y con la información recabada con informantes claves³³ se pudo identificar los cursos de agua de interés para el estudio. Realizando búsqueda de coordenadas a través de GPS se localizaron los puntos anteriormente fijados.

3.6.2. Segmentación longitudinal de los cursos de agua



Figura 19. Toma de datos de longitud de las unidades de estudio.

En el lugar se realizó un análisis visual para identificar los sitios más óptimos para la toma de datos. La sección elegida debía estar situada en un tramo recto y ser lo más homogénea posible a lo largo de dicho tramo. Se verificó que la sección fuera adecuada para el tamaño del molinete. Se examinaron las obstrucciones presentes en la sección y, en caso de ser necesario removieron las piedras pesadas que pudieran dificultar una correcta medición. Todo esto debe ser realizado antes de comenzar el aforo, para así no alterar las condiciones del flujo. Una vez

³³ Entrevista Santiago Meier, habitante de la zona, 2012

determinado el sitio se procedió a la medición del diámetro del segmento, para posteriormente subdividirlo en cuatro partes iguales, en las que se realizaran tres mediciones. Este procedimiento se realizó con tres repeticiones, distanciadas 50 metros entre sí.

3.6.3. Determinación de profundidades en puntos de muestreo

Una vez determinada las longitudes de los cuatro segmentos, se procedió a medir las profundidades de cada una con una mira. Obtenido este valor se procedió a calcular 20 y 60% de h (profundidad total de la subsección), para determinar la profundidad a la cual localizaríamos el molinete.

3.6.4. Medición de velocidad de escorrentía

Para este cálculo se utilizó el método de los puntos; se realizaron distintas observaciones de velocidad en cada vertical dependiendo de la profundidad del curso del agua. Para secciones de poca profundidad (menores a 60 cm) se realizan observaciones en cada vertical colocando el molinete a 0,6 y 0,2 de la profundidad total por debajo de la superficie libre. Para profundidades superiores, generalmente, se mide la velocidad a 0,2, 0,6 y luego a 0,8 de la profundidad de la superficie libre y se usa el promedio de las tres medidas como la velocidad media en la vertical. Para esta medición se registraron tres repeticiones, cada una de 30 segundos en cada muestreo.

3.6.5. Determinación de caudal

El método de Velocidad - Área consiste en medir la velocidad del cauce con un correntímetro o con un flotante y luego se multiplica la velocidad por el área de la sección del cauce para obtener el caudal. Este método es el más utilizado en ríos medianos y grandes. En cauces muy pequeños es difícil obtener buenos resultados.

Una vez finalizada la recolección de datos se procedió al procesamiento y sistematización de los mismos. Se calculó la velocidad con la fórmula que entrega el fabricante de nuestro molinete:

$$V = 0,678 \cdot \text{CPS} + 0,016 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^{34} \quad (3.3)$$

$$A = \frac{\left(\frac{L1+L2}{2}\right)}{(H1-H2)} (\text{m}^2)^{35} \quad (3.4)$$

$$Q = A_p \cdot V_p \left(\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right)^{35} \quad (3.5)$$

³⁴ Citada en entrevista con Jorge Baraona, 2012.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Material cartográfico:

4.1.1. Búsqueda de límites, subcuencas y comunales:

Se realizó una búsqueda sistemática de cubiertas digitales (shp.), para su posterior uso para el procesamiento en Argis 9.3, las cubiertas correspondientes a límites comunales, hidrografía, catastro de bosque nativo 2007, curvas de nivel, suelos, topografía entre otras.

4.1.2. Búsqueda de MDE

En una primera fase, se realizó una búsqueda en internet de páginas desde donde se pudiera descargar un modelo digital de elevación, seleccionando la página www.gdem.aster.ersdac.or.jp. Para la obtención del DEM fue necesario realizar un registro en esta página.

Posteriormente se cargó la cubierta de límite de la comuna de Lonquimay para definir el modelo digital de elevación a utilizar en el estudio. Se realizó la descarga de todos los modelos que contuvieran nuestra área de estudio, con lo cual se obtuvieron cuatro modelos digitales, los cuales fueron verificados mediante el software Arcgis 9.3.

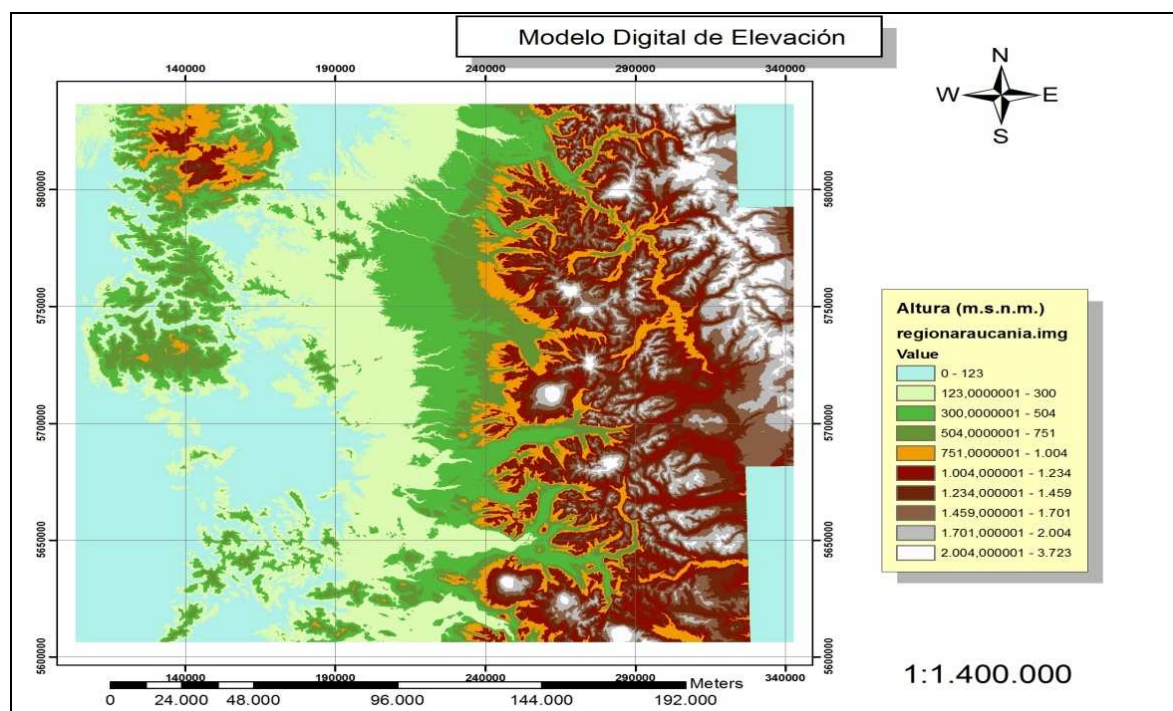


Figura 20. Despliegue de DEM en programa Arcgis

4.2. Definición de área de estudio:

Estas áreas se definieron a través de la revisión visual fotointerpretativa e información recabada en bibliografía y datos entregados por gente oriunda de la zona. Se identificaron los puntos de desagüe de los cursos de agua hacia el río Bio Bio. Estos ríos se procedieron a marcar con la herramienta de marcación de posición del software Google Earth.

Las tres áreas se encuentran situadas en la parte noreste de la comuna de Lonquimay, siendo el río Mitrarquén el que se ubica más al sur y el río Ranquil más al norte, casi en el límite político con la comuna de Alto Bio Bio.



Figura 21. Selección e identificación del punto de desagüe de las unidades de estudio.

4.2.1. Fotointerpretación de red hidrográfica

Con la foto interpretación y la recopilación de información realizada se identificaron los tres cursos de agua, realizando una marcación de los puntos de desagüe de cada uno en el río Bío Bío con la herramienta marcación de posición de Google Earth.

La exageración del relieve en la imagen del programa Google Earth permitió apreciar detalles de la red de drenaje que no resultan fáciles de identificar en un mapa a la misma escala. La precisión obtenida es en general menor que la que proporciona la medición directa en terreno, pero tiene la ventaja de permitir una visión de conjunto de los cauces.

Se identificaron las estructuras ya que la red de drenaje está sujeta a numerosos controles por parte de la topografía y estructura.

4.2.2. Delimitación de los cursos de agua

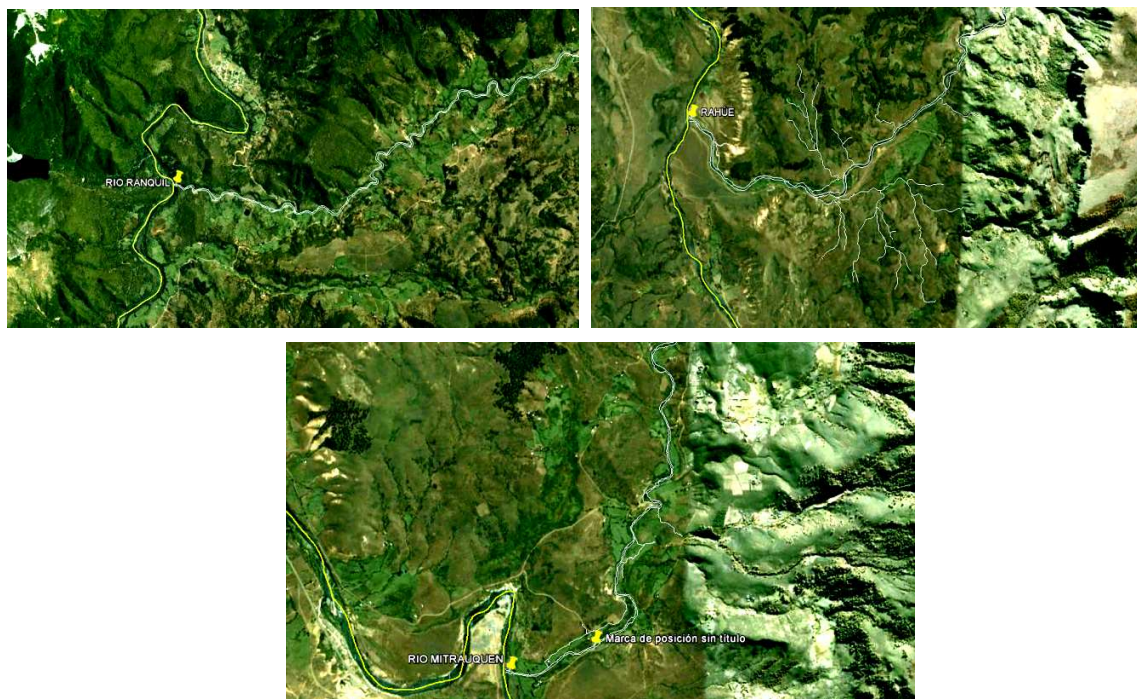


Figura 22. Fotointerpretación y digitalización de unidades de estudio.

En base a los puntos de término de cada río y conociendo la extensión de los mismos, se realizó la delimitación de ambas riberas en toda la extensión de los cauces. Se obtuvo la red hidrográfica fotointerpretada del curso principal (líneas dobles) y de sus tributarios (líneas simples).

La densidad de la red de drenaje disminuye con la dureza de la roca. En ausencia de un control estructural la red tiende a ser dendrítica, ya que cumple con estar compuesta por cursos pequeños, cortos e irregulares, que fluyen en todas las direcciones, cubren áreas amplias y llegan al río principal formando cualquier ángulo.

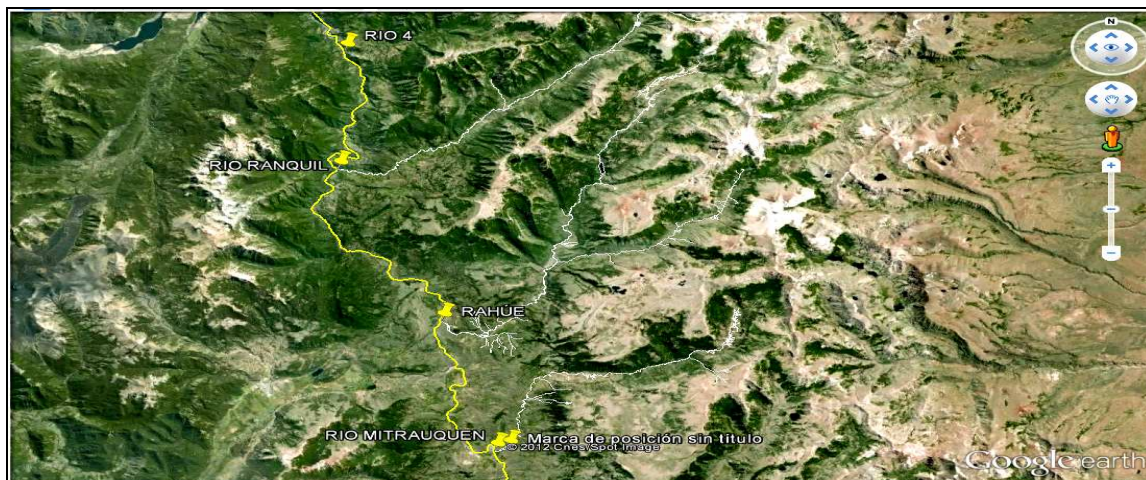


Figura 23. Unidades des estudio.

Estos ríos cordilleranos son los típicos de las zonas montañosas, muy caudalosos en época de deshielo, de aguas frías y mineralizadas, de extensión corta, que generalmente son afluentes de otros o terminan en lagos. Estos ríos por, su fuerza y enorme caudal, son aprovechados o tienen un gran potencial para la producción de energía hidráulica. Con la red hidrológica fotointerpretada se tiene un conocimiento real de la distribución, desplazamiento y dimensiones de los cursos de agua estudiados.

Al comparar las tres áreas de estudio se pudo identificar que la que presenta una longitud mayor es la del río Rahue con 153 km, a continuación la del río Ranquil con 103 km y finalmente y con una menor extensión la del río Mitrauquen con 67 km.

4.3. Análisis SIG:

A continuación se presentan los resultados de análisis SIG basado en el modelo digital de elevación y datos climáticos de precipitaciones.

4.3.1. Relleno (Fill):

Al realizar este proceso se corrigieron las imperfecciones que se generan en la captura de información por los satélites; con esto se logra un plano cartográfico continuó con respecto al relieve.

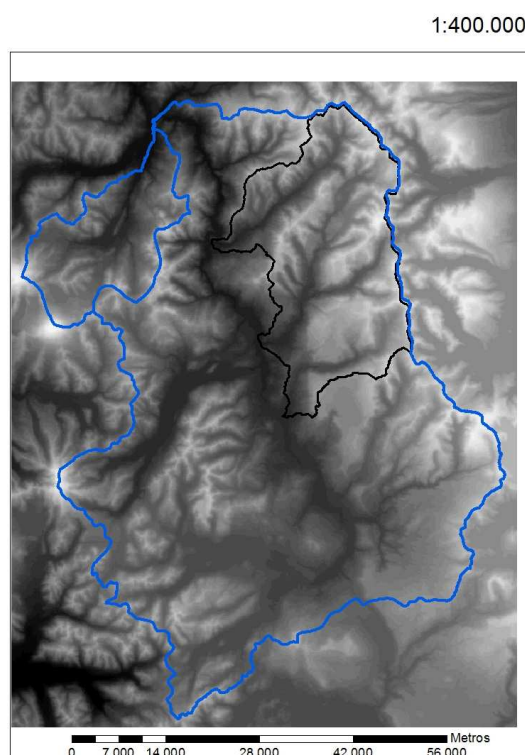


Figura 24. Mapa depurado de imperfecciones.

El objetivo de la corrección del MED y la eliminación de sumideros es crear un modelo del terreno topológicamente correcto, es decir, en el cual existe una concordancia entre la dirección del flujo y la elevación del terreno. Este nuevo archivo debe utilizarse para crear el archivo final de dirección de flujo para la posterior delimitación de cuencas y del sistema de drenaje.

4.3.2. Dirección de flujo (Flow direction):

Cada color de la figura 24 indica la dirección de las masas de agua a medida que avanzan por el relieve abrupto de la zona.

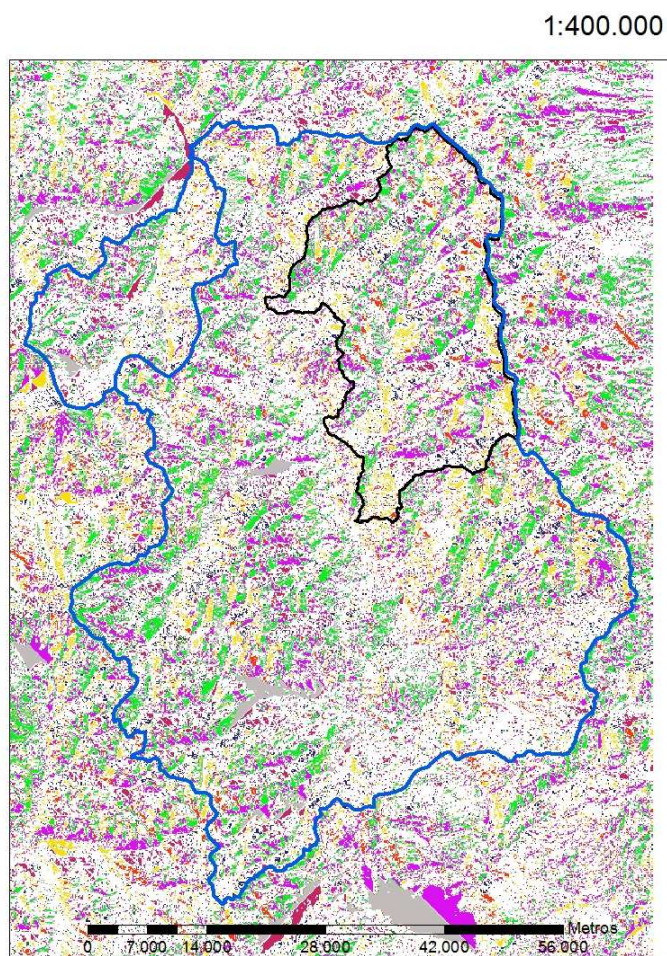


Figura 25. Mapa de dirección de flujo.

El pixel en la parte superior de la pendiente toma la dirección de flujo de la primera celda; posteriormente el algoritmo compara dicho valor con la dirección de flujo del segundo pixel y determina cual es mayor; el proceso se repite hasta completar todos los pixeles a evaluar.

4.3.3. Acumulación de flujo (Flow acumulation)

Se calcula el valor de acumulación de flujo desde la parte superior de la cuenca hasta su desembocadura manteniendo el valor de acumulación máximo. El programa determina la ruta de aquellas celdas con la máxima acumulación (cauces). En la figura 26 se aprecia el mapa de hidrografía modelada a partir del nuestro modelo digital de elevación.

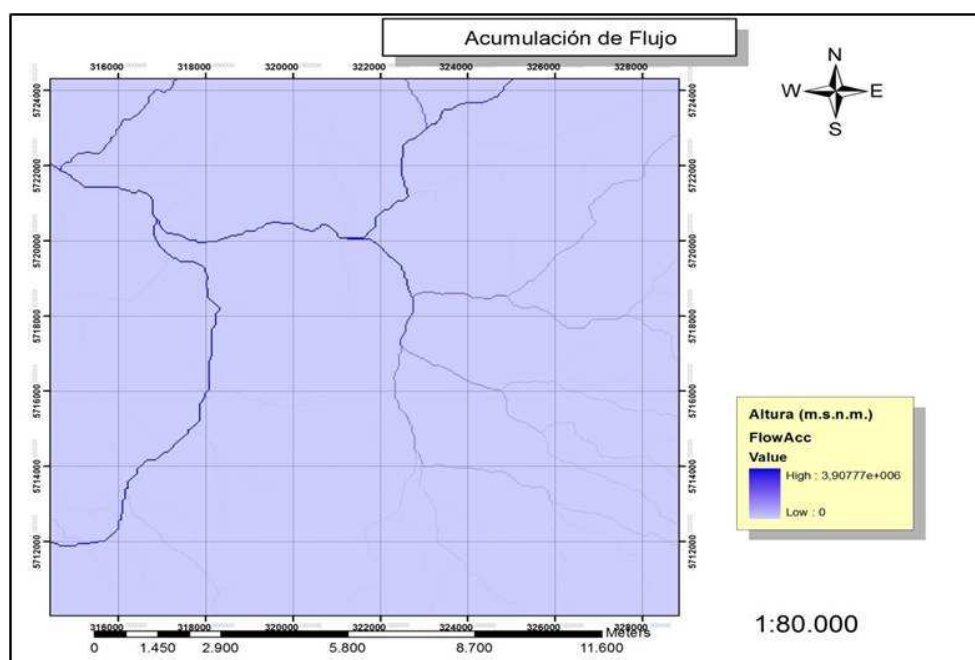


Figura 26. Mapa de acumulación de flujo.

Toda gota de lluvia que cae al suelo continua en forma de escurrimiento e infiltración, luego va a lugares de concentración. En este desplazamiento vertical, el agua se puede encontrar con estratos impermeables que movilizaran las partículas dependiendo de la forma y tipo de rasgos geológicos. En la figura 26 se puede apreciar cuánta agua se va acumulando a lo largo del terreno, según la topografía y relieve del mismo. Esta es una representación real de la escorrentía

de agua superficial como se van formando los ríos abastecidos del el agua proveniente de las partes altas de las cuencas.

La red hidrográfica representada en la figura 26 nos muestra la cantidad de agua que se acumula en cada pixel que los componen. Los cursos mas notorios visualmente son los que presentan una mayor cantidad de agua y por ende son los que poseen un mayor potencial energético.

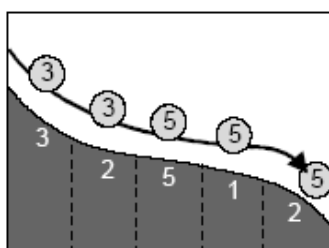


Figura 27. Distribución del flujo hídrico sobre el terreno

Acumula agua o cualquier otro elemento en la dirección de la pendiente del terreno. La topología correcta del MED es esencial para lograr estimaciones realistas del movimiento del agua a lo largo de la pendiente. La casilla de concentración le indica al programa cómo dividir el flujo entre las celdas vecinas. La casilla, le indica al programa el valor requerido para formar un cauce. En este caso $1 \text{ pixel} = 30 \times 30 \text{ m} = 900 \text{ m}^2$.

4.3.4. Delimitación de cuencas hidrográficas (Wathershed)

En esta figura se aprecia la delimitación de las 3 microcuencas estudiadas, basadas y el relieve de la zona y las redes hidrográficas de los cursos de agua. Esta delimitación nos ilustra tanto las partes de inicio de estas en las cumbres más altas como en la desembocadura que es la parte más baja es estas microcuencas.

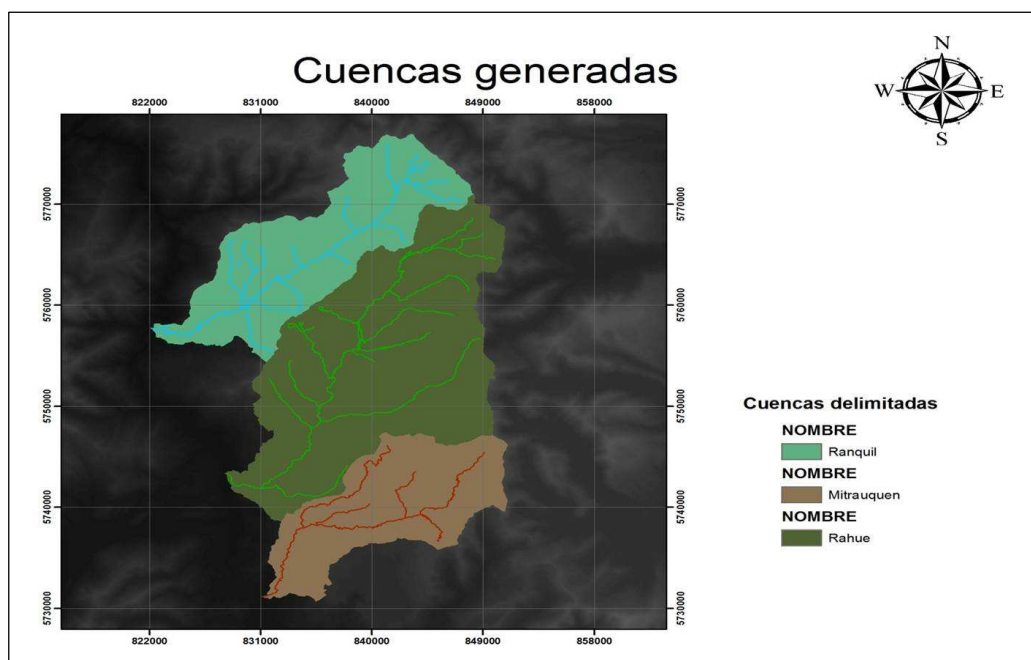


Figura 28. Unidades de estudio delimitadas (cuencas).

La superficie de las cuencas delimitadas por el divisor topográfico (Á, en km²), corresponde a la superficie de la misma proyectada en un plano horizontal; y su tamaño influye en forma directa sobre las características de los escurrimientos fluviales y sobre la amplitud de las fluctuaciones.

Se pudo identificar el cauce longitudinal de mayor extensión que tiene la cuenca, es decir, el mayor recorrido que realiza la quebrada o río desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades hasta un punto fijo, que puede ser una estación de aforo o desembocadura, que en estos caso era el río Biobío.

Como consecuencia del relieve altamente quebrado de que dispone el área, en la parte alta de las cuencas estudiadas se originan muchos afluentes que tributan sus aguas al principal afluente, que desemboca al río principal de la cuenca. Estas corrientes poseen altas pendientes que hacen necesario generar planificación sobre este territorio para el aprovechamiento de

energía que se genera en ellos. Los ríos mencionados no cuentan con mediciones directas de caudal por parte de entidades oficiales conocidas.

4.3.5. Parámetros hidrológicos y morfométricos

De acuerdo a la forma y medidas de las cuencas se pueden clasificar o identificar ciertas características de las mismas. Con estos parámetros se pudo conocer variables que son importantes para el reconocimiento y potencialidad de las unidades de estudio.

Cuadro 5. Valores de los Parámetros Hidrológicos y Morfométricos de las Microcuencas

Caracterización morfométrica de la cuenca			
Parámetros	Mitrauquén	Ránquil	Rahue
Área de la cuenca (km ²)	166,6	211,8	382,6
Longitud cauce principal (km)	66,9	103,8	153,2
Longitud de la cuenca (Km)	24,780	29,963	34,492
Pendiente media de la cuenca (%)	19,123	13,412	17,5699
Pendiente media del cauce principal (%)	24,8101	37,716	33,1258
Perímetro (km)	91	112	135
Altitud media (M)	1713	1506	1672
Densidad de drenaje (km/km ²)	0,4016	0,4898	0,40047

Debido a las características topográficas del área de estudio se obtuvieron como resultado grandes áreas para las cuencas hidrográficas, siendo la del río Rahue la que posee una mayor superficie con 382,6 km².

Las longitudes en los cursos de agua principales de las cuencas estudiadas son directamente proporcional con el área de las mismas y su longitud. En este caso se toma en cuenta el comienzo de las cuencas, en su parte alta hasta la desembocadura en el río Biobío.

El agua superficial concentrada en los lechos fluviales escurre con una velocidad que depende directamente de la pendiente de éstos, así a mayor declividad habrá mayor velocidad

de escurrimiento. El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es importante en el estudio del comportamiento del recurso hídrico, para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico. La pendiente media de la cuenca de estos tres ríos se determinó por la medición de la declividad de un curso de agua entre dos puntos, se determina para tramos cortos mediante la relación que existe entre el desnivel que hay entre estos 3 puntos extremos y la proyección de su longitud. Esta medida no depende del área de la cuenca si no a la sinuosidad del terreno y es por esto que en el caso de las unidades de estudio la que posee una mayor pendiente media es la del río Mitrauquen con 19,12%, y si la comparamos con la del río Rahue que es la que tiene una mayor área notamos que es menor con un 17,57%. A diferencia, con la pendiente media de los cursos de agua que varían mayormente ya que la geografía que los modela da paso a la formación de los cauces por acumulación ya sea por precipitaciones, vertientes cordilleranas o deshielos de las partes altas de las cuencas.

En perímetro de las cuencas estudiadas está definido por la longitud de la línea de división de aguas y se conoce como el “parte aguas o Divortium Aquarium”, teniendo para las unidades de estudio los valores de 91 para el río Mitrauquen, 112 para el río Ranquil y 135 km el río Rahue esta medida tiene directa relación con el área de las cuencas.

La densidad de drenaje indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una cuenca (L_i) y el área total de la misma (A). Valores altos de densidad refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder de una manera relativamente rápida al aumento o disminución de la precipitación, es decir que las precipitaciones influirán inmediatamente sobre las descargas de los ríos (Tiempos de Concentración cortos). Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. Una baja densidad de drenaje es favorecida en regiones donde el material del subsuelo es altamente resistente bajo una cubierta de vegetación muy densa y de relieve plano. La densidad de drenaje tiende a uno en ciertas regiones desérticas de topografía plana y terrenos arenosos, y a un valor alto en regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables. A diferencia a lo dicho anteriormente, y tomando en cuenta que las unidades de estudios están situadas dentro de parajes montañosos estas cuencas poseen un

densidad de drenaje en el rango de pobre, ya que no superan el 0,5 (km/km^2), siendo los rangos entre 0.5 km/km^2 para hoyas con drenaje pobre, hasta 3.5 km/km^2 para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

4.4. Muestreo de terreno:

4.4.1. Identificación de los cursos de agua en terreno

a) Mitrauquen



b) Rahue



c) Ranquil



Figura 29. Identificación de unidades de estudio en terreno.

A través de una búsqueda de coordenadas UTM con un gps se realizó una navegación para llegar a los puntos identificados anteriormente en el programa Google Earth. Una vez ubicados en el sitio indicado por el sistema de posicionamiento global se corroboró con una revisión foto interpretativa en el programa computacional, identificando sitios o infraestructura cercana.

La selección de los tramos a medir se realizó por la variable de tramo del cuerpo de agua recto en por lo menos 150 metros para realizar las mediciones en tres puntos distintos del segmento. Si bien no se realizaron las tres mediciones en todos los cuerpos de agua (ya que el tiempo con el que contábamos para el muestreo no fue el suficiente), en todos se tomaron datos de velocidad de escorrentía superficial. En el río Mitrauquen se realizaron las tres mediciones, en el río Rahue se realizaron dos y en el río Ranquil solo una. Tanto en la unidad que se tomaron dos y una muestra la selección fue con el criterio de mayor velocidad en el tramo (según apreciación visual).

4.4.2. Segmentación longitudinal de los cursos de agua

Cuadro 6. Medición de longitud y segmentación de los cuerpos de agua.

	SEMENTACIÓN DE CUERPOS DE AGUA				
Ranquil (m)	Mitrauquen1 (m)	Mitrauquen 2 (m)	Mitrauquen3 (m)	Rahue1 (m)	Rahue 2 (m)
3,25	5,125	2,25	3,8	5	5,5
6,5	10,25	4,5	7,6	10	11
9,75	15,375	6,75	11,4	15	16,5
13	20,5	9	15,2	20	22
				25	

Con una huincha de distancia se determinó la longitud en metros de cada uno de los cauces, encontrando una variación natural en cada punto de muestreo, ya que la naturaleza, la intervención (natural y entrópica), el relieve y muchas variables más generan situaciones distintas en cuanto al ancho del cauce. Las mayores longitudes fueron determinadas en el río Rahue, ya que este río, a diferencia de los otros tiene menor intervención entrópica ya que la huella que existe para el tránsito automotriz es solo para el transporte de los dueños de la propiedad y no existe una gran intervención de agentes externos, en cambio en los otros 2 casos son sitios que bordean caminos de uso público.

Se apreció que los cuerpos de agua mas anchos presentaban a simple vista una menor profundidad con una irregularidad por el sedimento que se deposita en los lechos de estos. Si bien

los cuerpos de agua son representados como una tubería menos profunda a las orillas y más en el centro, por las altas velocidades aparentes de estos ríos la depositación de los sedimentos (rocas) es irregular en su lecho y no siempre encontramos la característica de una tubería en ellos, es mas, en algunos tramos encontramos las partes más profundas en los bordes. Para una mejor segmentación de la sección se recomienda que a los ríos con un ancho menor a 10 metros se debe tomar una profundidad cada $\frac{1}{2}$ m y las que son superiores a 10 m cada 1 metro para así tener un conocimiento mas certero de todas las variables a lo ancho de este.

4.4.3. Determinación de profundidades en puntos de muestreo

Cuadro 7. Medición de profundidades de los cauces.

PROFUNDIDADES DE CUERPOS DE AGUA (H)						
	Ranquil (m)	Mitrauquen1 (m)	Mitrauquen 2 (m)	Mitrauquen3 (m)	Rahue1 (m)	Rahue 2 (m)
P1	0,35	0,2	0,5	0,45	0,6	0,51
P2	0,7	0,3	0,62	0,48	0,9	0,73
P3	0,45	0,2	0,43	0,47	0,6	0,6
P4					0,87	

Los cursos estudiados son muy variables en cuanto a sus profundidades, pero en comparación a ríos que se pueden apreciar en sitios con condiciones totalmente distintas a las encontradas en el área de estudio se puede inferir que no son de una gran profundidad ya que por gravedad y por sinuosidad de relieve el paso del agua por los cursos es más rápido y tiene menor posibilidad de acumularse. Pero hay épocas en donde la acumulación es mayor y por ende las profundidades aumentan ya que en las partes altas de la cuenca las temperaturas son muy bajas y el agua se transforman en nieve, y es por eso que el aporte de aguas es menor.

Cuadro 8. Alturas de toma de datos.

Profundidades de toma de datos a 0,2-0,6 y 0,8 de la superficie (m)					
Ranquil (m)	Mitrauquen 1(m)	Mitrauquen 2(m)	Mitrauquen 3 (m)	Rahue 1 (m)	Rahue 2 (m)
0,07	0,04	0,1	0,09	0,12	0,102
0,21	0,12	0,3	0,27	0,36	0,306
0,14	0,06	0,12	0,096	0,18	0,146
0,42	0,18	0,37	0,288	0,54	0,438
0,09	0,04	0,09	0,094	0,12	0,12
0,27	0,12	0,26	0,282	0,36	0,36
				0,174	
				0,522	

Ya habiendo conocido las profundidades totales de los puntos de muestreo se determinó las alturas (h) de toma de datos calculando de la profundidad total a 0,2 y 0,6 de h total.

4.4.4. Medición de velocidad de escorrentía

Cuadro 9. Velocidades parciales y totales

	VELOCIDAD DE ESCORRENTIA EN CADA PUNTO DE MUESTREO					
	RANQUIL	MITRAUQUEN1	MITRAUQUEN2	MITRAUQUEN3	RAHUE1	RAHUE2
VELOCIDADES PARCIALES (m/s)	15,61	16,29	12,22	11,32	15,95	14,49
	29,74	14,37	14,02	4,08	13,8	20,15
	22,16	10,75	10,29	11,43	9,39	20,88
					12,33	
VELOCIDAD PROMEDIO	22,5	13,75	13,01	9,08	12,64	18,21

Con el molinete se determinó en cada altura de toma de datos cuantas vueltas daban las aspas en 30 segundo, una vez conseguido este dato se utilizó la formula (3.3) dada por el fabricante del instrumento para calcular las velocidades parciales, y poder así mismo promediarlas para saber cuál es la velocidad del punto de muestreo. Las mayores velocidades fueron registradas en el río Ranquil con una velocidad promedio de 22,5 m/seg y de la misma

forma se identificó que en el punto de muestreo Mitrauquen 3 encontramos las velocidades más bajas con un promedio de 9,08 m/seg.

En el río Mitrauquen, y a diferencia de los otros, esta cuenca posee una gran intervención entrópica ya que existen rutas bien delimitadas y asentamientos humanos en gran concentración y por esto se podría decir que la presión que ejerce el medio sobre estos cauces de agua afecta directamente a la velocidad de escorrentía, ya sea por corta de la vegetación riberena, instalación de infraestructura productiva cercana a los ríos, extracción de áridos entre otros u otra actividad que se realice río arriba, y como es sabido va a repercutir a lo largo del mismo.

4.4.5. Determinación de caudal

Cuadro 10. Áreas de segmentos del los cuerpos de agua

	AREAS DE LOS SEGMENTOS DE RIO					
	RANQUIL	MITRAUQUEN1	MITRAUQUEN2	MITRAUQUEN3	RAHUE1	RAHUE2
AREAS PARCIALES (m ²)	0,05	0,02	0,11	0,06	0,06	0,05
	0,16	0,05	0,25	0,12	0,15	0,11
	0,26	0,05	0,23	0,13	0,15	0,12
	0,05	0,02	0,1	0,06	0,15	0,05
					0,09	
				0,51		
AREA TOTAL	0,52	0,14	0,69	0,37	1,10	0,33

Antes de calcular el caudal es necesario determinar el área de las subsecciones de los puntos de muestreo con la fórmula (3.4) para así poder calcular nuestros caudales parciales en cada subsección, y con posterioridad nuestro caudal total de los puntos de muestreo, para así conocer la potencialidad hidroenergética de éstos. De los puntos muestreados la mayor área es la obtenido en la unidad muestral Rahue1 con 1,10 m², aunque en comparación las los otros puntos muestreados este curso era el que presentaba mayor ancho de la caja de rio, y del mismo modo se desprende que la menor área se obtuvo en la unidad muestral Mitrauquen1 0,14 m².

Cuadro 11. Caudales reales de los cuerpos de agua en un punto.

	CALCULO DE CAUDAL ($Q=ap*vp$)					
	RANQUIL	MITRAUQUEN1	MITRAUQUEN2	MITRAUQUEN3	RAHUE1	RAHUE2
CAUDALES PARCIALES (m^3/s)	0,84	0,31	1,36	0,6700	0,96	0,67
	4,8	0,72	3,49	0,4998	2,07	2,27
	5,66	0,52	2,4	1,4286	1,41	2,52
					1,81	
CAUDAL TOTAL	11,31	1,55	7,25	2,6	6,25	5,47

Los caudales determinados en todo los puntos de muestreo nos indican que son de una gran potencialidad para uso hidroenergético, encontrando el pik en el rio Ranquil con 11,31 m^3/seg .

4.5. Estadígrafos de precipitación

Para el estudio se utilizó la población de datos de precipitaciones de la comuna de Lonquimay, y los datos del modelamiento de precipitaciones de la plataforma Wordclim según combinaciones extraíble para toda la comuna.

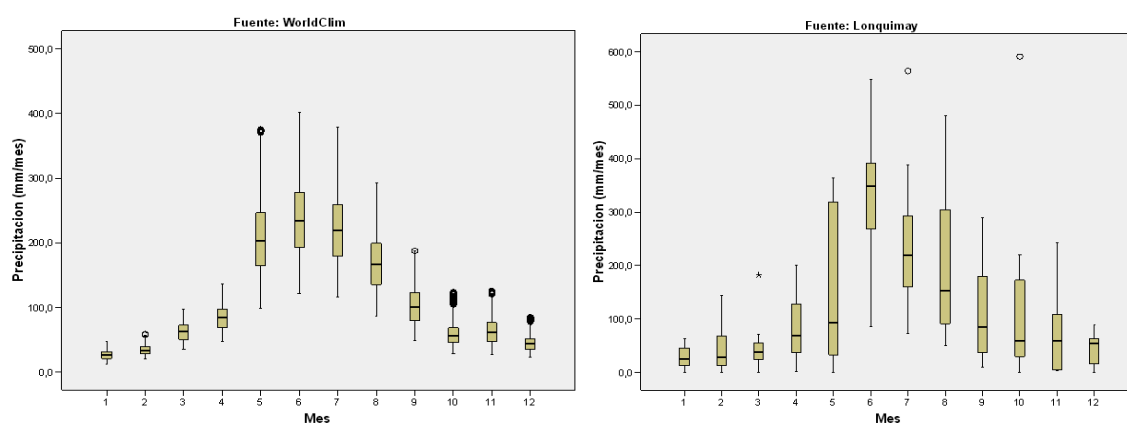


Figura 30. Precipitaciones reales (estación meteorologica Lonquimay) y modeladas (Wordclim).

Comparando ambas informaciones se puede apreciar que tiene una distribución similar, teniendo la mayor diferencia entre los valores mínimos y máximos de los percentiles. Los datos obtenidos en la estación meteorológica de la comuna de Lonquimay son registros de 12 años (2000-2011) a diferencia de la plataforma word clim que corresponde al modelamiento de las precipitaciones regionales a nivel anual desde los años 1950 en adelante. Los datos de la estación meteorológica posee outlier muy alejados de los rangos normales, pero esto es esperable ya que en la naturaleza es común encontrarse con estos datos que salen de los rangos de ocurrencia, y en el caso del modelamiento, estos valores extremos no tiene un distanciamiento significativo de los datos.

Los datos a tomar en cuenta por su gran diferencia en los mínimos y máximos son los de mayo de la estación meteorológica, esto puede ser por que en la base de datos en el años 2010 no presenta registros de precipitaciones, en los otros meses tambien existen días sin registros y es por esto que los mínimos y los máximos de los datos de la estación se encuentran mayormente distanciados.

4.5.1. Intervalo de confianza de las precipitaciones

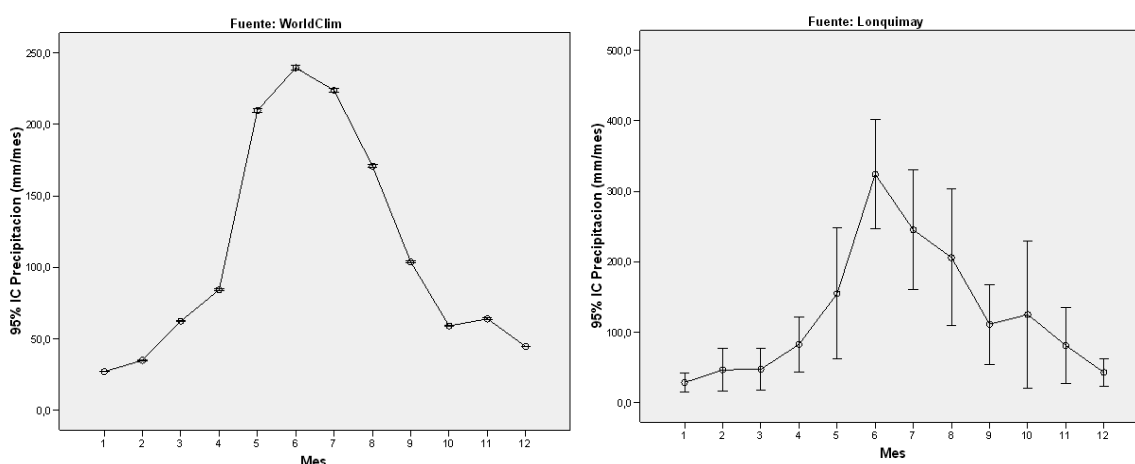


Figura 31. intervalos de confianza con un 95%

Ambos gráficos poseen una distribución normal de los datos. Como se aprecia en los gráficos los intervalos de confianza de los datos de la estación meteorológica poseen un amplitud mayor a la del modelamiento, y por ende posee un mayor nivel de confianza para los intervalos del modelamiento, y es por esto que la estimación es más precisa.

El régimen pluviométrico se caracterizó por presentar una distribución normal de las lluvias con máximas cantidades de Mayo a Septiembre. Las épocas más secas ocurrieron con valores mínimos absolutos en los meses de enero a marzo y de noviembre a diciembre. Según los gráficos se identificó que los meses más lluviosos de ambas mediciones es el mes de junio, con un valor en el modelamiento de 200 a 250 mm y en los datos de la estación entre 300 y 400 mm.

4.5.2. Desviación estándar de las medias de precipitaciones

En la figura 32 se presenta cuán distante se encuentran los datos de máximas y mínimas precipitaciones en un año. Las precipitaciones están medidas en mm/mes.

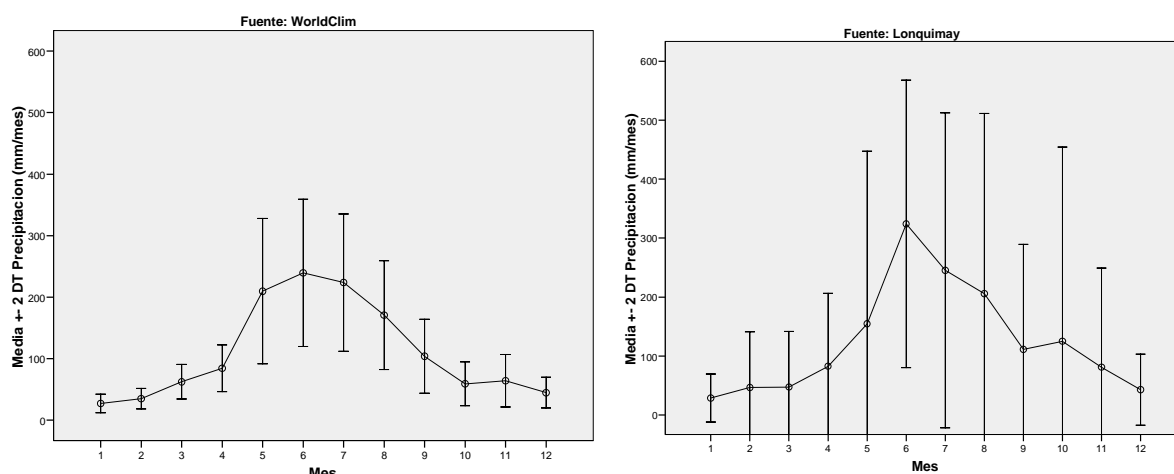


Figura 32. media \pm 2 DT precipitación (mm/mes).

Si bien el primer gráfico se incrementa en la época de invierno y disminuye rápidamente en primavera, la comuna de Lonquimay es bastante más estable, es decir incrementa en invierno y disminuye muy poco en las siguientes estaciones. Los valores tienen un comportamiento

similar ya que su desviación estándar se reduce en los extremos del gráfico, o sea en los 4 primeros y últimos meses del año, aunque en la estación de Lonquimay se produce una anomalía en los datos con una dispersión muy amplia para la tendencia que tienen los datos. Es frecuente que en una estación falten datos de la precipitación caída en uno o más días, meses o años. Por lo tanto, es conveniente disponer de un método o criterio para estimarlas y así poder calcular las precipitaciones mensuales y anuales.

Aproximadamente 95% de los valores estará dentro de + 2 desviaciones estándar a partir de la media que es el caso de los datos de ambas fuentes. La desviación estándar nos permite determinar, con un buen grado de precisión, dónde están localizados los valores de una distribución de frecuencias con relación a la media.

4.5.3. Curva de tendencia de las precipitaciones

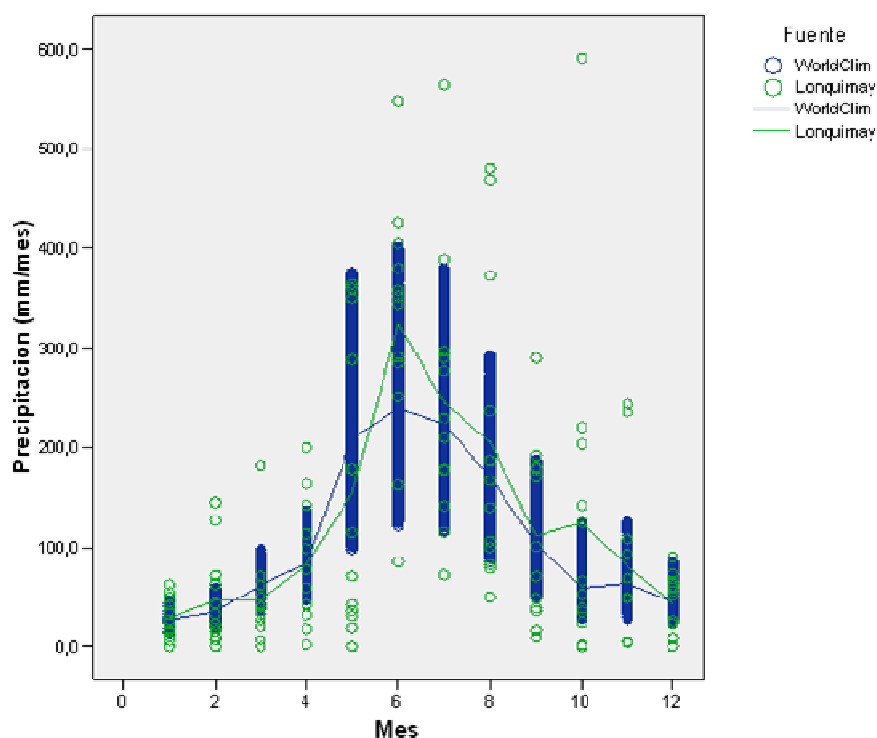


Figura 33. Valores promedio de dispersión de datos y curva de tendencia.

La dispersión de los datos modelados por la plataforma word clim son muy homogéneos en su distribución a diferencia de la estación meteorológica que posee un distanciamiento significativo entre las precipitaciones máximas y mínimas de cada mes. En los datos de precipitaciones de la estación podemos encontrar outlier, ya que son datos que están fuera del patrón de distribución.

Así mismo los promedios mensuales de ambas bases de datos nos entregan una tendencia similar para ambas curvas.

Los datos de precipitaciones obtenidos, ya sea en la estación meteorológica o los modelados con los datos de la plataforma WordClim, analizándolos estadísticamente se puede apreciar distribución normal en ambos casos, aunque existe una mayor dispersión en los datos de la estación meteorológica Lonquimay ya que éstos datos son registros de doce años (2000-2011), en cambio los modelados son registros de un año (2012). Los rangos de distribución por mes son disímiles a raíz de que la meteorología es una ciencia inexacta, en la que no se pueden controlar los eventos, en cambio en la estimación se modelan según ciertas condiciones atmosféricas sin incorporar la variabilidad de estas variables.

4.6. Estadígrafos de caudales

A partir del modelamiento de la acumulación de flujo potencial con el raster de precipitaciones expresado en m^3/seg se obtuvieron los caudales estimados a través del modelamiento.

Generalmente los valores acumulados del promedio de las precipitaciones anuales de varias estaciones contiguas, no se ve afectado por un cambio en la estación individual, ya que existe una compensación entre ellas.

Estos valores tiene cierta distorsión a raíz de la cantidad de mediciones que se realizaron en cada uno, ya que en el río Mitrauquen se tomaron datos de tres puntos en la sección estudiada, en el río Rahue fueron dos y en el rio Ranquil sólo uno, ya que los recursos, tanto monetarios como temporales fueron escasos.

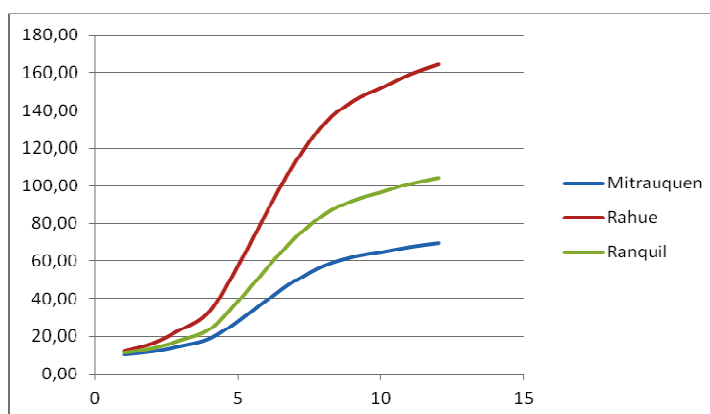


Figura 34. Caudales acumulados de los tres ríos de estudio

En este gráfico podemos apreciar la distribución de los caudales a lo largo de un año en las tres microcuencas estudiadas, siendo la microcuenca de río Rahue la que tiene un mayor valor. Por lo tanto esta cuenca posee la mayor potencialidad para la instalación de una mini central hidroeléctrica.

4.6.1. Modelo de Regresión

Por la falta de datos en las unidades de estudio se realizó una regresión con un modelo polinómico, en donde se ajustó con los datos del Modelamiento mas los caudales obtenido de la estación de aforo la Junta, para obtener una función polinómica que le dará mayor exactitud a nuestro análisis de caudales en los 3 ríos estudiados.

Las dos variables (caudales obtenidos del Modelamiento y el de la estación de aforo la Junta) incluidas en el análisis explican un 99% de la varianza de la variable dependiente. El coeficiente de correlación (R) = 0,999 demuestra una fuerte asociación lineal positiva. El

coeficiente de determinación (R^2) identificó una pequeña diferencia entre las variables con un 0,998.

Cuadro 12. Modelo polinomial de tercer grado.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,999 ^a	,998	,997	5,96488

a. Variables predictoras: (Constante), X1, X3, X2

b. Variable dependiente: QaReal

El Sig determinado de 0,000 en el cuadro 13 indica que existe una relación lineal significativa entre las variables, y en consecuencia la ecuación utilizada ofrece un buen ajuste de la nube de puntos (datos analizados). F nos indica un relación significativa entre la variable (caudal real) y sus variables predictorias (información estimada de caudal) con 1261,116.

Cuadro 13 Regresión del modelo polinomial.

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	134610,924	3	44870,308	1261,116	,000 ^a
	Residual	284,639	8	35,580		
	Total	134895,563	11			

a. Variables predictoras: (Constante), X1, X3, X2

b. Variable dependiente: QaReal

Los B representan a los números que posteriormente utilizaremos en nuestra función de ajuste de los datos analizados y es el número de unidades que aumentará el caudal real o criterio por cada uno de las variables predictorias. El que tiene mayor valor B es -0,05203 ya que este nos demuestra un alto grado de asociación el resto de las variables. Los coeficientes de regresión estandarizados nos indica valores altos de caudales comparandos las variables independientes.

Cuadro 14. Variables del modelo polinomial.

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	9,442017	5,044		1,872	,098
	X2	-,005203	,002	-1,499	-3,142	,014
	X3	,00002014	,000	1,606	5,376	,001
	X1	,93968268	,198	,925	4,749	,001

a. Variable dependiente: QaReal

La función polinomial para el ajuste es:

$$Y = 9,442 + 0,000020X^3 - 0,0052 X^2 + 0,9397X \quad (4.1)$$

Identificamos que los datos de nuestro caudal real posee mayores valores que los del estimado en casi todo el transcurso de la curva de distribución alcanzando su máximo entre los 300 y 350 m³/seg, mientras nuestro caudal estimado solo alcanza sus valores máximos en el rango de 250 y 300 m³/seg.

Con la función polinomial obtenida se ajustaron los datos de los caudales obtenidos con el estimado y los datos modelados con la acumulación de flujo. Pero una vez ajustada con la fórmula polinomial obtenida, ésta tiene una distribución con un error muy bajo.

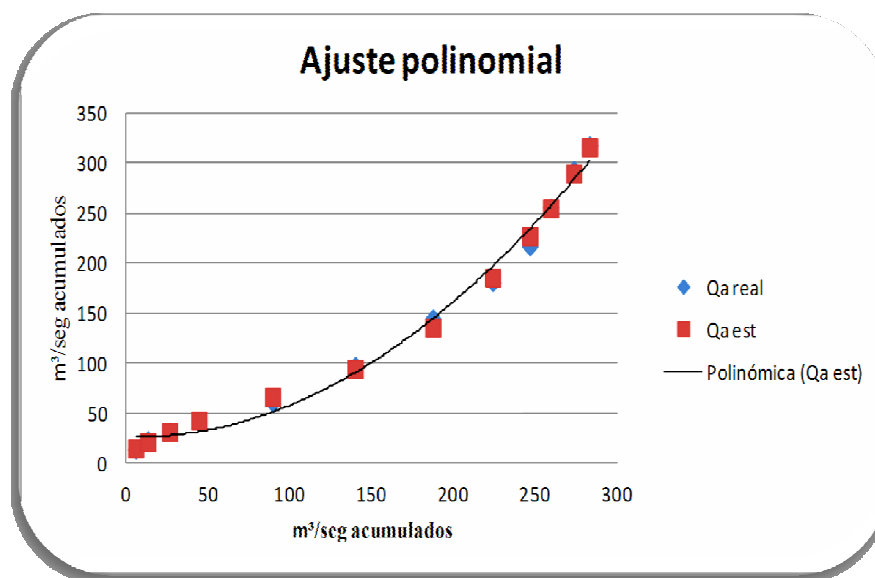


Figura 35. Modelo de regresión lineal múltiple ajustada con una función polinómica, de los caudales acumulados del río Lonquimay.

Esta curva representa el ajuste polinomial de los valores reales v/s los modelados. Con esta gráfica verificamos la bondad de ajuste de nuestra ecuación obtenida, y donde se aprecia una separabilidad entre los caudales estimados y los reales, pero al aplicar la regresión polinómica, esta se ajusta muy bien

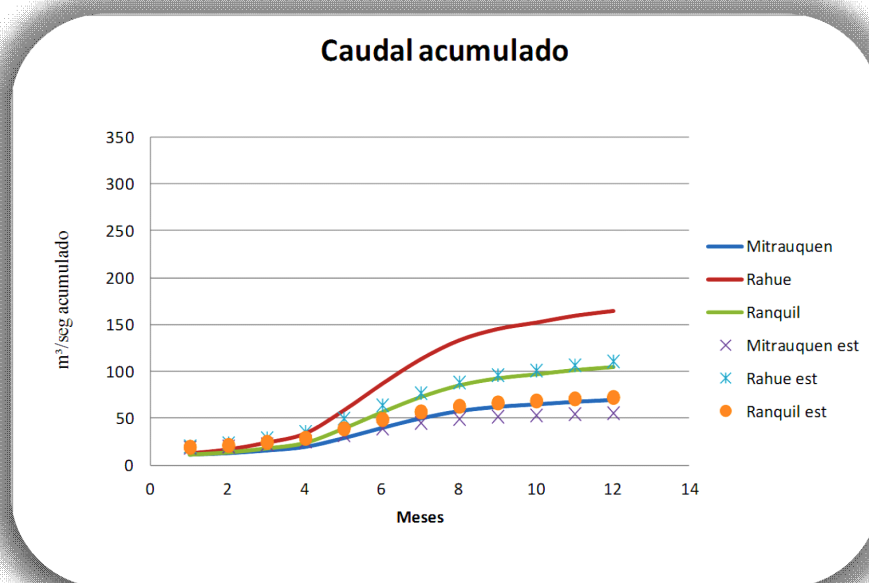


Figura 36. Modelo de regresión lineal múltiple ajustada con una función polinomial, para cada río.

La fórmula obtenida en la regresión anterior se volvió a utilizar para ajustar los datos de caudales de las tres cuencas estudiadas, utilizando los datos de caudal estimado con los reales de cada una. La cuenca que tiene mayor caudal es la del río Rahue, además posee una mayor variabilidad de los datos, ya que se aprecia una gran distancia de los valores reales calculados, y por ende su desviación estándar es mayor. Los caudales estimados arrojaron siempre valores más bajos de los reales, ya que estaban sobreestimados.

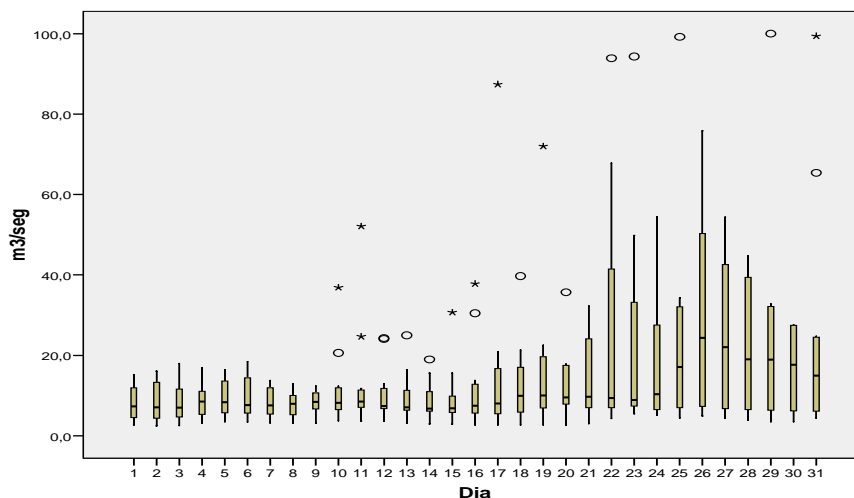


Figura 37. Gráfico de dispersión de caudales de los meses de mayo del 2000 al 2011.

Podemos decir que existen datos outlier que se escapan de los límites de los intervalos de confianza. Los datos obtenidos comparando los caudales de los meses de mayo de las fuentes de información procesadas (flowacc y estación fluviométrica la junta), se apreció una variación menor de los mínimoa y máximos de cada día del mes, pero a partir del día 22 de mayo los datos aumentan el rango en donde se situa los datos de caudal, y así continúa la tendencia hasta el último día del mes. Si se compara la medición de caudal que se realizó en terreno con estos datos comprobamos que el valor obtenido se encuentra dentro de los valores límites.

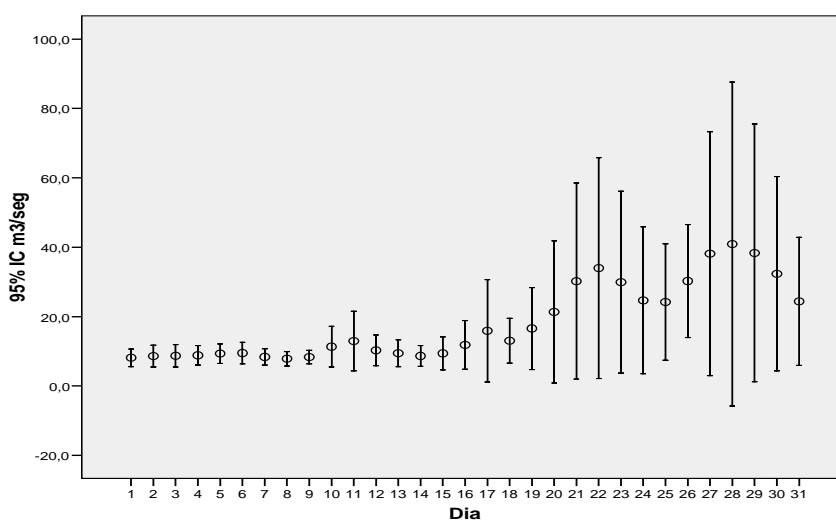


Figura 38. Intervalos de confianza para los caudales de mayo del año 2000 al 2011.

Los intervalos de confianza de la figura 38 son similares a la distribución de caudales del mes del gráfico anterior. Los caudales se distribuyen en un rango más acotado en los primeros 15 días del mes, de ahí se aprecia un incremento de los valores de caudales ya sean por aumento de las lluvias u otro factor climático. En el día 29 de mayo, es el que se aprecia un mayor rango en cuanto a datos de caudal (aumenta su variabilidad).

Al comparar todos los datos obtenidos anteriormente se apreció variabilidades en cuanto a las distintas formas de obtención de los mismos, ya que los datos estimados a través del MDE presentaron los valores más altos de caudales en los tres ríos, y a diferencia del MDE los datos capturados en terreno arrojaron los menores valores en los caudales, esto es por la cantidad de datos, ya que los datos de terreno se tomaron en solo un tramo del curso principal de cada río y en 1 día. Es por esto que se recomienda para una mayor exactitud de los resultados realizar mediciones periódicas en los cursos a estudiar.

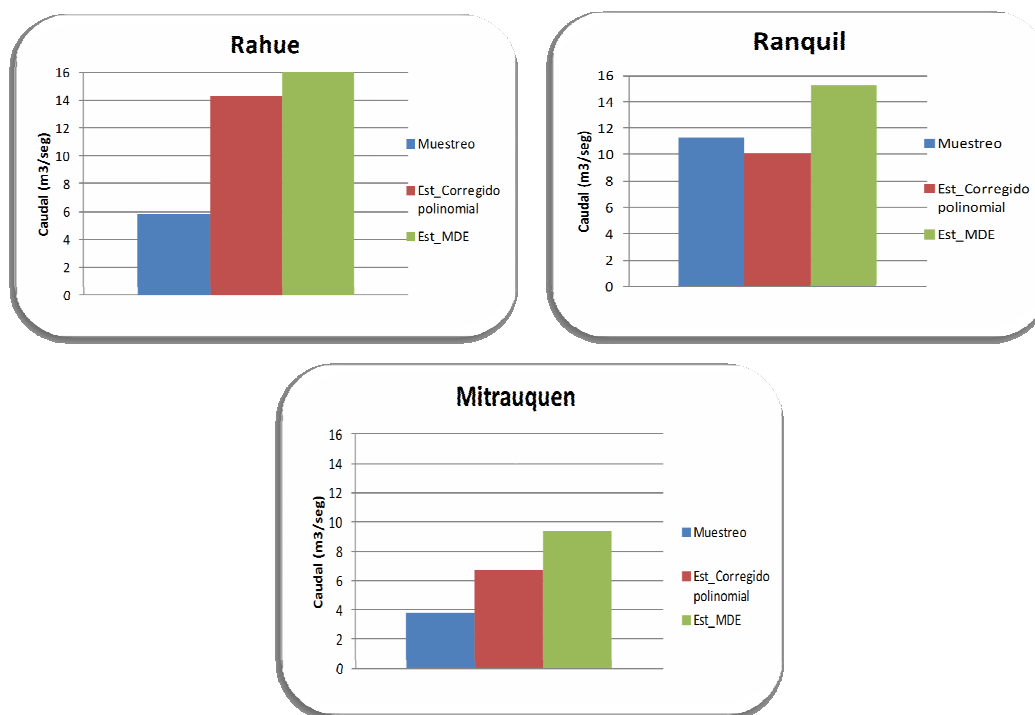


Figura 39. Comparación de los caudales obtenidos en terreno con los caudales estimados por el modelamiento.

Se desprende de las dos primeras gráficas de la figura 39, según los caudales obtenidos en terreno, una subestimación de los datos ya que los valores registrados a través de mediciones in situ son inferiores a las modeladas. A diferencia de las situaciones explicadas en las primeras graficas, en el río Ranquil sucede lo opuesto, ya que se está sobrestimando los caudales reales, ya que en el modelamiento es inferior, pero este es el que presenta una menor diferencia entre los tipos de datos de caudales obtenidos, ya que son los con menor desviación estandar.

5. CONCLUSIONES

Al comparar los modelados de fotointerpretación y MDE de la red hídrica se concluye que la representación más estricta de la red hidrográfica se obtiene con la toma de datos mediante una fotointerpretación, ya que en este proceso se pueden generar la demarcación de todos los cursos de agua, tanto del curso principal como sus tributarios.

Para la generación de redes hídricas mediante la herramienta Hydrology del programa Arcgis 9.3 es crucial corregir las áreas de depresiones internas, como también las áreas planas que cortan el flujo de agua y conllevan a cálculos hidrológicos con resultados erróneos con la aplicación Fill.

Si bien no se incluyeron factores físicos del suelo en el modelamiento, la incorporación del ráster de precipitaciones permitió modelar caudales que se ajustaron con un R de 0,999 y un error de estimación de $5 \text{ m}^3/\text{seg}$ mediante un modelo polinomial para la estación meteorológica de Lonquimay.

Los caudales promedio determinados en los puntos de muestreo fueron 11,3080179 para el río Ranquil, 3,8012439 para el río Mitrauquen y 5,858399025 para el río Rahue. El error de estimaciones para los caudales acumulados 5%.

Este método formulado es programable y se puede utilizar como un Modelo de Simulación para estudiar los efectos de aumento o disminución del caudal en distintos períodos, además utilizando la simulación de las lluvias nos entrega un dato de retorno en las microcuencas bajo diferentes condiciones climáticas.

6. RESUMEN

Considerando que Chile necesita duplicar la capacidad de generación energética para llegar a un crecimiento económico de un 6 % anual, es necesario identificar y caracterizar las fuentes que existen en nuestro país para cumplir este fin. El país cuenta con diversos recursos naturales que podrían transformarse en energéticos (viento, sol, olas del mar, biomasa), pero el recurso más importante es la hidroenergía. Esta abundante fuente presenta variados problemas, especialmente, cuando se trata de proyectos de gran envergadura, ya que afectan negativamente el ecosistema. Las mini centrales son una solución real a esta problemática, pues el impacto que ejercen sobre el medio ambiente es mínimo, además, son subvencionadas y la subida de electricidad hasta 20 kw al SIC no tiene costo para el productor. El objetivo general de este estudio es proponer una metodología para determinar las potenciales zonas de producción energética en las micro cuencas de los ríos Rahue, Ranquil y Mitrauquen, comuna de Lonquimay, región de la Araucanía.

La hidrografía de la comuna de Lonquimay tiene un gran potencial energético producto de su superávit hídrico y del relieve abrupto de la zona. Las micro cuencas de los ríos en cuestión se modelaron mediante modelación hidrológica asistida con el programa computacional Arcgis 9.3 y basándose en un modelo digital de elevación (MDE) para obtener las direcciones de flujo y acumulación. Los datos obtenidos mediante el modelamiento se compararon con los datos de la plataforma Wordclim, obtenidos en terreno, de estaciones meteorológicas y de aforo ubicadas dentro del área de estudio.

Como resultado, se determinó que las tres micro cuencas estudiadas tienen un gran potencial energético y es el río Rahue el más extenso de los tres y el que registra un mayor caudal (167,351784 m³/seg, en un año). Las fuentes de información que se cruzaron arrojaron como resultado tendencias similares, con diferencias en los valores por el método de captura de información de cada base de datos. La medición del caudal tomada en terreno aumenta el error en el estudio, ya que se registraron datos de un día y un punto geográfico, por lo que se recomienda al menos una medición mensual y en más de un punto en cada curso de agua. La metodología

permitió estimar la potencialidad energética de las micro cuencas sometidas a investigación con un nivel de confiabilidad del 95%.

7. SUMMARY

Considering that Chile needs to double its capacity of energy generation in order to reach the economic growth of annual 6%, it is necessary to identify and characterize resources existing in our country. Chile has several natural resources to be transformed in energy (wind, sun, waves, biomass), but the most important resource is hydropower. This very rich source implies some problems mainly with huge projects for they may negatively affect the ecosystem. Mini-hydropower plants are a real solution for these problems because of the minimum impact on the environment. Besides, these plants are subsidized and the producer may provide the SIC (one of the main grids of Chilean Electric System) with his electricity up to 20 kW at no cost. The general aim of this study is to propose a methodology in order to determine potential areas of energy production in the micro-watersheds of Rahue, Ranquil, and Mitrauquen rivers in Lonquimay commune of Araucania Region.

The Lonquimay commune's hydrography has a great energy potential because of both a water surplus and a rough terrain. The micro-watersheds of these rivers were modeled by using the Arcgis 9.3 program of water modeling and a digital elevation model (DEM) in order to obtain flow direction and water accumulation. The data obtained by modeling were compared with data obtained on site from Wordclim platform of weather and accumulation stations within the studio area.

As a result, it was determined that these three analyzed micro-watershed have a great energy potential and Rahue is the largest and most plentiful river (annual 167,35 m³/sec). The matched information sources showed similar tendencies differing only in values because of the capture information method of each data base. The flow measurement made on site increased the study margin of error, for data were those recorded only in one day and over one geographical point; therefore, at least one monthly measurement and in more than one watercourse point is recommended. The methodology allowed us to estimate the potential energy of studied micro Watershed with a 95% reliability level.

8. LITERATURA CITADA

- ACERA**, 2011. “Tecnologías ERNC, estrategias de gestión comercial disponibles y sus cuotas en Chile”. 138 p. consultada en <http://www.energiaciudadana.cl/docs/capitulos/05CAP.pdf>, el 20 de marzo 2012.
- Ahumada, M.; Palma, R.; centron, A.; Ramirez, S.; Hauenstein, E.; Gonzalez, M.; Perez, G;** 1999. Pauta de condición de las veranadas en la IX Región de La Araucanía. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Depto. de Protección de los Recursos Naturales Renovables, 9: pp. 1-71.
- CCTP**, 2005. La necesidad y urgencia de un plan nacional de acción de eficiencia energética para Chile. 16 p. consultada en http://www.chilesustentable.net/wp-content/plugins/downloads-manager/upload/Urgencia_plan_ee_para_chile.pdf el 12 de abril 2012.
- CCPPDyME**, 2011. Desafío para la seguridad y sustentabilidad del desarrollo eléctrico en Chile: Razones de la inseguridad y las distorsiones de las políticas vigentes. 8 p.
- CIREN**, 1990. Atlas Agroclimático de Chile, Regiones IV a IX. Publicación N° 87, 67 pp.
- CNE**, 2003. “fijación de precios nudo: SIC informe técnico definitivo”. 25 p. consultada en http://www.cne.cl/archivos_bajar/ITP_SIC_Abr04def.pdf el 6 de abril de 2012.
- CNE**. 2008. Precios y costes de la generación de electricidad. 16 p. consultada en http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/cne82_08.pdf el 10 de abril del 2012.
- CNE**, 2008. Contexto y Enseñanzas Internacionales para el Diseño de una Estrategia Energética a Largo Plazo para Chile. 31 p.
- CNE**. 2010. antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro. 23 p. consultada en http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/estudios/texto1.pdf el 6 de abril del 2012.
- CNR**, 2009. ITC-09 Instructivo de aforo en canales no revestidos. Ley 18.450. 19 p. consultada en http://www.chileriego.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo=20100112184427 &hdd_nom_archivo=Chile%20Riego%2041.pdf
- CONAMA**. 2006. “Estudio de la Variabilidad climática para Chile en el Siglo XXI”. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. 2009. 76 p.

- Deutch, J, et al.** 2009. "Update of the 2003 study on the Future of Nuclear Power". Massachusetts Institute of Technology. 26 p.
- Dussaubat, S y Vargas, X.** 2006. Aforo en un cauce natural. Departamento de Ingeniería Civil Proyecto MECESUP UCH 0303 Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza de Pregrado en Ciencias de la Tierra. Universidad de Chile. 15 p.
- FAO.**1996. Planificación y ordenación de cuencas hidrológicas con ayuda de computadores. Roma. 94 Pág.
- Felicísimo, A.M.** (1992): Aplicaciones de los modelos digitales del terreno en las ciencias ambientales. Tesis Doctoral, 235 pág. Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT), Universidad de Oviedo.
- Hauenstein B., Enrique, palma T., Rodrigo, Gonzalez A., Marcos et al;** 2003. composición florística de praderas alto andinas de la zona de Lonquimay (ix región, Chile). pp.8-20.
- IGM.** 1993. Atlas de Chile y del Universo. Editorial Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile. 103 p.
- INE.** 2009. Proyecciones de Población. Cifras de Población Estimada para 1990 – 2020, basados en el Censo 2002. Consultada en http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/proyecciones/MenPrincOK.xls 15 de abril 2012.
- Laguna, M;** 2006. "Small hydropower - Overview of the European sector". European Renewable Energy Review. pp. 51-55.
- Mena, C.; Berrios, H.; Gajardo, E.; Ormazabal, M.** 2003. Aplicación de la fotointerpretación y su integración a los sistemas de información geográfica en el ámbito forestal. Cordillera Andina de la Región del Maule, Chile. En Teledetección y Desarrollo Regional. Pérez U, R.; Martínez C, P, 2003. X Congreso Nacional de Teledetección., Primera edición Cáceres, España. Pp. 209-212.
- Municipalidad de Lonquimay.** 2009. Actualización de Planes de Desarrollo Comunal. Ejecutado por Instituto de Desarrollo Local y Regional, Universidad de la Frontera.
- OCDE.** 2005. Evaluaciones del desempeño ambiental en Chile. Pag.67-94. Consultada en <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/2/21252/lc12305e.pdf>, el 12 de marzo 2012.
- Ortiz, O.** 2004. Hidrored, Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía.(Perú).1(2-7). Consultada en http://fedeta.org/web_publicaciones/web_hidrored/hidrored_2004_01.pdf, el 21 de marzo 2012

- Román, R.** 2010 “Carbón: Negro Futuro para Chile?” Universidad de Chile. 26 p. consultado en http://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/03/chact_hidroy-3%2000021.pdf, el 12 de marzo 2012.
- Rouanet, J; Romero, O. y Demanet, R.** 1988. Áreas agroecológicas en la IX Región: Descripción. Ipa Carillanca. (Chile) (1): 18–23.
- Sarasúa, J.** 2009. Control de minicentrales hidroeléctricas fluyentes. Modelado y estabilidad. Tesis Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética. Universidad politécnica de Madrid. Madrid, España. 513 p.
- S. Hall, R. Román, F. Cuevas, P. Sánchez,** 2009 ¿Se Necesitan Represas en la Patagonia? Ocho Libro Editores. ¿Se Necesitan Represas en La Patagonia?. 21 p.
- SEPADE.** 2010. Estudio de capacidad productiva para la comuna de Lonquimay. 46 p. consultada de <http://www.sepade.cl/media/files/publicaciones/Estudio%20Capacidades%20Productivas%20Lonquimay%202010.pdf> el 23 de abril 2012.
- Taylor, S. and Upadhyay, D;** 2005. "Sustainable markets for small hydro in developing countries". Hydropower and Dams, no 3. Pp. 62-66.

9. ANEXOS

Anexo 1. Formulario para toma de datos en terreno.

Numero orden	Subsección	h sección (m)	Numero de vueltas			Velocidad (m/s)			Área subsección (m ²)			Velocidad media (m/s)	Caudal subsección (m ³ /s)
			0,2 h	0,6 h	0,8 h	0,2 h	0,6 h	0,8 h	0,2 h	0,6 h	0,8 h		
1	1												
2													
3													
1	2												
2													
3													
1	3												
2													
3													
1	4												
2													
3													
Total													

Anexo 2. Precipitaciones acumuladas de estación meteorológica Lonquimay.

año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2000	15,5	127	50	42,1	31	380	72,5	167	39	2	4,4	9
2001	17	0	33	2	114,6	285	564	100	17	0	4	0
2002	35,5	145	182,5	113,5	364	548	389	469	192	591	236	90
2003	55	10	7	43	71,1	426	178	82,6	290,1	142	93,2	23,4
2004	0	33	71,2	98,8	19,5	404,7	277	79	181	203,5	108,4	51,5
2005	6	19	40,5	32	350,1	290,7	210,2	237	49	35	69	56
2006	63	23	62	142,5	179	358	297	187	179	125	5	59
2007	27	72	21	163,5	42,5	85,5	229,5	140	71	38,9	4,3	73,3
2008	24	16,5	0	78	360	162,5	290	480	36	52,5	49	26
2009	10	44	27	59,5	288,5	251	141,5	372,6	101	220,5	243,5	61,5
2010	42	63	40	18,5	0	344,5	178,6	106	9,5	66,3	49,5	65,5
2011	49,5	7	35,5	200	36	352	114,9	50	170,5	25	108	0

Anexo 3. Caudales acumulados de la estación de aforo La Junta.

año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2000	349,09	475,59	289,4	206,05	279,81	1492,7	1680	1065,4	1111,4	1571,8	1403,1	997,8
2001	654,8	402,4	344,43	214,26	1351,12	2153,2	2899,1	1319,8	804,8	918,5	693,8	483,5
2002	344,72	287,21	438,47	391,45	593,6	694,4	581,9	1313,4	1362,5	2754,2	1857,5	1299,2
2003	588,6	273,83	215,17	138,87	115,9	1933,61	1542,9	853,8	1006,9	1135,6	854,3	651,8
2004	418,1	262,16	221,38	588,56	311,47	1074,11	1720,8	667,6	1003,6	1106,4	1187,8	668,9
2005	343,47	203,45	193,5	109,83	758,09	1666,6	1634,3	1437,2	1235,4	1245,7	1503,5	1097,1
2006	592,6	294,19	277,57	418,44	510,54	1936,1	3456	1578,5	1451,9	1388,6	1110,7	731,7
2007	415,77	201,62	215,65	325,13	281,76	290,3	842,79	389,45	397,08	1187,3	1330	681
2008	414,7	274,14	236,98	171,36	858,37	554,34	979,5	1360,6	1561,4	1161,2	1030,8	514,1
2009	309,62	247,6	217,93	283,92	1295,14	256	394,2	1430,8	1372,3	1600,2	1977,6	1009,5
2010	556,5	346,96	317,04	224,64	232,27	792,29	789,1	687,6	595,2	48,1	474,3	702,7
2011	19,2	112,75	236,32	299,72	199,33	505,98	490,1	901,7	955	0	0	0

Anexo 4. Caudales determinados con datos de terreno.

	Mitrauquen			Rahue			Ranquil		
	mes de mayo			mes de mayo			mes de mayo		
	Q terreno	Q flowacc	Q flowacc Ac (año)	Q terreno	Q flowacc	Q flowacc Ac (año)	Q terreno	Q flowacc	Q flowacc Ac (año)
p1	1,55	10,18	64,87	6,25	26,56	167,35	11,31	2,02	102,23
p2	7,25	10,18	64,87	5,47	26,56	167,32			
p3	2,60	10,18	64,87						

Anexo 5. Diagrama de flujo metodológico.

