

**“Determinación del potencial hidráulico del río Blanco en el tramo Junta río Blanco-estero Caracoles - Junta río Blanco-río Negro, para la localización de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)”**

Memoria para optar al Título de Geógrafo Profesional.

**Francisco Javier Podlech Raby.**

Profesor Guía: Rodrigo Vargas Rona.  
Profesores Informante: María Victoria Soto Bauerle.  
Francisco José Ferrando Acuña.

Santiago, Chile.  
Noviembre 2010.

### **Dedicatoria:**

Dedico esta memoria de título a mis viejos Francisco y Deborah, por su paciencia, comprensión, cariño, ayuda y sobre todo por el apoyo incondicional en todos y cada uno de mis proyectos y aventuras.

También se lo dedico a mis hermanos José Ignacio y María Laura, fuente de amor y alegría diaria.

A mis grandes amigos y colegas Felipe Napoleoni, Max Villalobos, Nicolás Diestre, Ricardo Paulsen, Natalia Garrido y Catalina Araya los cuales me brindaron ayuda permanente y amistad incondicional.

A mi polola Bárbara Carrión, que siempre me apoyó.

A Natalia Campos, amiga, colega y compañera en estos largos y sacrificados meses de memoria, de los cuales, ambos hemos salido tan bien como habíamos pensado.

Y en especial a mi amigo y compañero, Jean Henriquez, el cual no dudo nunca en ayudarme, con la mejor de las disposiciones y ánimo. Por sus enseñanzas y apoyo, que hicieron posible esta memoria de título.

### **Agradecimientos.**

A todos los que en alguna medida hicieron posible la concreción de este proyecto, en especial a Rodrigo Moreno que siempre tuvo la mejor de las disposiciones para ayudarme en todo lo que estuvo a su alcance y a mi profesor guía Rodrigo Vargas, el cual siempre hace que le dé una vuelta al asunto, y por ende, el resultado sea mucho mejor.

## ÍNDICE:

<b>INTRODUCCIÓN:</b> .....	<b>9</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 CONTEXTO GENERAL:</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2 CONTEXTO LOCAL:</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES:</b> .....	<b>15</b>
<b>1.4 POTENCIAL CHILENO PARA LA GENERACIÓN DE ERNC:</b> .....	<b>19</b>
<b>1.5 PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS, UNA PIEZA DE LA SOLUCIÓN.</b> .....	<b>21</b>
<b>II. ÁREA DE ESTUDIO:</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1 CONTEXTO REGIONAL.</b> .....	<b>23</b>
2.1.1 Clima. ....	23
2.1.2 Población. ....	23
2.1.3 Economía. ....	24
2.1.4 Hidrografía. ....	24
<b>2.2.1 CONTEXTO LOCAL:</b> .....	<b>29</b>
2.2.1.1 Hidrología río Blanco: .....	30
2.2.1.2 Clima: .....	31
2.2.1.3 Accesibilidad: .....	32
<b>III. OBJETIVOS.</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1 OBJETIVO GENERAL:</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> .....	<b>34</b>
<b>IV. HIPÓTESIS:</b> .....	<b>35</b>
<b>V. MARCO TEORICO CONCEPTUAL:</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1 ASPECTOS GENERALES:</b> .....	<b>36</b>
<b>5.2 ENERGÍA SUSTENTABLE</b> .....	<b>37</b>
<b>5.3 POTENCIAL DE DESARROLLO ENDÓGENO.</b> .....	<b>43</b>
<b>5.4 ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES (ERNC)</b> .....	<b>45</b>

<b>5.5 DEFINICIÓN DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....</b>	<b>48</b>
<b>5.6 TIPOS DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS: .....</b>	<b>50</b>
5.6.1 Central de agua fluyente o de pasada: .....	50
5.6.2 Central de pie de presa .....	53
<b>5.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS. ...</b>	<b>54</b>
5.7.1 Ventajas: .....	54
5.7.2 Desventajas.....	56
<b>5.8 DERECHOS DE AGUA: .....</b>	<b>58</b>
<b>5.9 CAUDALES ECOLÓGICOS: .....</b>	<b>60</b>
<b>5.10 NUEVA LEY DE ENERGÍAS RENOVABLES EN CHILE: .....</b>	<b>62</b>
<b>5.11 APOYO E INCENTIVOS PARA LA INTRODUCCIÓN DE ERNC A LOS MERCADOS ENERGÉTICOS. ....</b>	<b>64</b>
<b>5.12 ¿POR QUÉ LA ENERGÍA MINI - HIDRO POR SOBRE LAS OTRAS ERNC? .....</b>	<b>66</b>
<b>5.13 BARRERAS DE ENTRADA O PROBLEMA DE CONEXIÓN AL SISTEMA. ....</b>	<b>68</b>
<b>5.14 CRITERIOS DE LOCALIZACIÓN PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....</b>	<b>70</b>
5.14.1 CAUDAL:.....	70
5.14.2 PENDIENTE/DESNIVEL O SALTO DE AGUA: .....	72
5.14.3 TIPO DE SUELO:.....	73
5.14.4 USO DE SUELO:.....	73
5.14.5 DISTANCIA A LA RED ELÉCTRICA:.....	74
5.14.6 DISTANCIA A VÍAS DE ACCESO:.....	75
5.14.7 LIMITANTES:.....	76
<b>VI. METODOLOGÍA: .....</b>	<b>77</b>
<b>6.1 ETAPA N° 1: .....</b>	<b>77</b>
6.1.1 Asignación de Pesos – Importancia de criterios de localización: .....	79
<b>6.2 ETAPA N° 2: .....</b>	<b>81</b>
<b>6.3 PASOS Y MÉTODOS:.....</b>	<b>85</b>
6.3.1 Medición y cálculo de Caudal:.....	85

6.3.2 Obtención y determinación de pendientes apropiadas: .....	89
6.3.3 Tipos de suelo:.....	91
6.3.4 Usos de suelo:.....	93
6.3.5 Determinación de distancia a la red eléctrica:.....	94
6.3.6 Determinación de distancias a vías de acceso: .....	95
6.3.7 Limitantes a la localización de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas: .....	96
<b>VII RESULTADOS.....</b>	<b>97</b>
<b>7.1 DEFINICIÓN Y CÁLCULO DE CAUDAL: .....</b>	<b>97</b>
<b>7.2 DEFINICIÓN Y OBTENCIÓN DE PENDIENTE: .....</b>	<b>102</b>
<b>7.3 IDENTIFICACIÓN TIPOS DE SUELO: .....</b>	<b>107</b>
<b>7.4 IDENTIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE USOS DE SUELO:.....</b>	<b>111</b>
<b>7.5 DISTANCIA RED ELÉCTRICA: .....</b>	<b>113</b>
<b>7.6 DISTANCIA A VÍAS DE ACCESO:.....</b>	<b>115</b>
<b>7.7 LIMITANTES:.....</b>	<b>117</b>
<b>VIII. ANÁLISIS CARTA SÍNTESIS:.....</b>	<b>119</b>
<b>IX. ZONIFICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO, SEGÚN CARTA DE SINTESIS:..</b>	<b>120</b>
<b>X. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS:.....</b>	<b>126</b>
<b>XI. DISCUSIÓN:.....</b>	<b>130</b>
<b>XII. BIBLIOGRAFÍA: .....</b>	<b>135</b>
<b>XIII. ANEXOS: .....</b>	<b>141</b>

### Índice de Gráficos, Tablas y Figuras.

#### Índice de Gráficos:

Grafico N° 1: Participación de las ERNC en la generación eléctrica de España (2006)..	15
Grafico N° 2: Fuentes de energía renovable en Alemania (2006).....	16
Gráfico N° 3: Curva de variación estacional río Blanco en Curacautín.....	31

Grafico N° 4: Potencial bruto ERNC, estimación 2025.....	47
Grafico N° 5: Emisiones de gases invernadero según la tecnología con la cual se produce la energía. ....	66

**Índice de tablas:**

Tabla N° 1: Red hídrica Curacautín. ....	29
Tabla N° 2: Escala de medidas de Saaty. ....	80
Tabla N° 3: Categorización parámetros de aptitud.....	81
Tabla N° 4: Medición parte alta, aguas abajo de la junta del río Blanco-estero Caracoles: .....	98
Tabla N° 5: Medición de caudal parte media, aguas arriba de la intersección del río Blanco con la ruta internacional Pino Hachado: .....	99
Tabla N° 6: Medición parte baja del río Blanco, aguas arriba de la junta río Blanco- río Negro.....	100
Tabla N° 7: Categorización caudales .....	100
Tabla N° 8: Categorización pendientes. ....	105
Tabla N° 9: Categorización tipos de suelo (según capacidad de uso). ....	109
Tabla N° 10: Categorización usos de suelo. ....	111
Tabla N° 11: Categorización red eléctrica.....	113
Tabla N° 12: Categorización red vial. ....	115
Tabla N° 13: Porcentaje de aptitudes en función a localización de PCH en el río Blanco. ....	119

### **Índice de Diagramas:**

Diagrama N° 1: Definición de Criterios de localización .....	78
Diagrama N° 2: Diagrama Metodología utilizada paso a paso. ....	83
Diagrama N° 3: Procesos fundamentales de la Metodología.....	84

### **Índice de Figuras:**

Figura N° 1: Mapa mundial con los estados miembros y asociados de IRENA. ....	17
Figura N° 2: Río Blanco, Contexto general área de estudio. ....	25
Figura N° 3: Cuencas de la IX región de la Araucanía. ....	26
Figura N° 4: Subcuencas IX Región de la Araucanía. ....	27
Figura N° 5: Subsubcuencas comuna de Curacautín.....	28
Figura N° 6: Accesibilidad área de estudio. ....	33
Figura N° 7: Consumo energético a nivel mundial por países: .....	40
Figura N° 8: Mayores generadores de energía eléctrica por países (todos los recursos disponibles). ....	41
Figura N° 9: Menores generadores de energía eléctrica por países (todos los recursos disponibles) .....	41
Figura N° 10: Ejemplo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas: .....	51
Figura N° 11: Costos según tecnología por MW generado. ....	67
Figura N° 12: Potencia bruta teórica, según altura de caída y caudal turbinable. ....	71
Figura N° 13: Aforos caudales en río Blanco.....	88
Figura N° 14: Caudales río Blanco, aforos en terreno e interpolación.....	101
Figura N° 15: Campos de acción turbinas hidroeléctricas. ....	103
Figura N° 16: Pendientes, caja del río Blanco.....	106
Figura N° 17: Tipos de suelos en función a la capacidad de uso, interpolados colindantes. ....	110

Figura N° 18: Usos de suelos interpolados, colindantes. ....	112
Figura N° 19: Distancias entre red eléctrica y cauce río Blanco. ....	114
Figura N° 20: Distancia entre red vial y cauce río Blanco. ....	116
Figura N° 21: Limitantes a la localización de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. ....	118
Figura N° 22: Carta síntesis.....	119
Figura N° 23: Zona baja, No apta.....	121
Figura N° 24: Zona media baja, Muy Apta. ....	123
Figura N° 25: Zona media alta, Poco Apta. ....	124
Figura N° 26: Zona alta, No Apta. ....	125
Figura N° 27: Sitios óptimos de emplazamiento PCH. ....	129



## **Introducción:**

La presente investigación se enmarca dentro la problemática energética que presenta Chile en la actualidad, principalmente en lo que se refiere a los altos grados de dependencia energética que presenta el país y el conflicto medioambiental que provoca la generación de energía eléctrica en base a combustibles fósiles.

Así se propone desarrollar una investigación que abarque dichas temáticas y de solución, a lo menos en parte a estas problemáticas.

Las Energías Renovables No Convencionales son la solución, alternativa y respuesta del futuro a la generación de energía eléctrica. Específicamente se trabaja con las pequeñas centrales hidroeléctricas de pasada, las cuales en su funcionamiento y capacidad de producir energías son altamente eficientes, además han probado a través del tiempo ser una energía limpia, segura y altamente confiable.

De esta forma nace la idea de determinar el potencial del río Blanco ubicado en la novena región de la Araucanía, para la localización de Pequeñas centrales hidroeléctricas, en función de aspectos territoriales, técnicos y físicos.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Contexto General:

*“Históricamente el desarrollo de las naciones ha estado vinculado a la disposición, explotación y consumo de recursos energéticos. En particular, desde los inicios de la Revolución Industrial, el consumo energético mundial ha apostado a los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y posteriormente el gas natural, como su fuente energética prioritaria, principalmente por su facilidad en la extracción, transporte y transformación...”* (Centro de Energías Renovables, 2010).

Chile, en tanto, es un país que presenta una situación energética compleja, producto de una serie de factores entre los que destaca, principalmente, la falta de recursos energéticos presentes en el territorio.

La producción de energía eléctrica del país está basada en un 60 % en la termoelectricidad (forma de generar energía mediante la quema, en general, de combustibles fósiles) y en un 36,4 % en hidroelectricidad<sup>1</sup>, dejando a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), un porcentaje bajo de participación: 1,2 % pequeña hidroeléctrica, 1,3 % biomasa y solo un 0.15 % energía eólica (Comisión Nacional de Energía, 2007).

Tal como se puede apreciar en el párrafo anterior, Chile es un país que basa su producción energética principalmente en recursos naturales, fuentes o materias primas que no posee (Combustibles fósiles). Cerca de tres cuartas partes de los hidrocarburos que el país utiliza los importa, por tanto su crecimiento queda supeditado a un sin fin de factores internacionales tales como la volatilidad de los precios, interrupciones del

---

<sup>1</sup>Datos extraídos del documento de la Comisión Nacional de Energía CNE, “ERNC: Capacidad Instalada

suministro, estallido de conflictos bélicos, inestabilidad o incumplimiento de compromisos de abastecimiento (Argentina 2004, Crisis del gas).

Lo recién expuesto es relevante, ya que el suministro de energía impacta directamente en el desarrollo social y económico de los países. De hecho, el crecimiento económico y el consumo energético van intrínsecamente ligados: a más energía utilizada, mayor crecimiento económico (Rudnick 2006).

Chile, tal como dice el profesor Hugh Rudnick en su trabajo “Seguridad energética para el país”, es un territorio con limitados recursos energéticos propios (particularmente fósiles), que se ha hecho muy dependiente de insumos externos para su desarrollo. El país importa el 98 % del petróleo crudo, 96 % del carbón y 75 % del gas natural (Poniachik, 2007).

Por lo tanto, es evidente el alto grado de dependencia con los países exportadores de hidrocarburos y la probable inestabilidad de la matriz energética nacional; una posible solución para este caso, según la ex ministra de minería Karen Poniachik, es poseer un buen “*mix*” de insumos en la matriz energética que combine tanto las fuentes/insumos propios (hidráulicos, eólicos, geotérmicos) como las fuentes en base a combustibles importados, petróleo, carbón y gas natural licuado (GNL<sup>2</sup>).

Por otro lado, se tiene el conflicto medioambiental que genera la producción de energía eléctrica en base a combustibles fósiles. Esta forma de generar energía, provoca serios inconvenientes medioambientales principalmente por la emanación de material particulado de diversos tamaños y Gases de Efecto Invernadero (Anhídrido Carbónico, Dióxido de Carbono, Dióxido de Azufre entre los más conocidos).

---

<sup>2</sup> Información extraída del documento “*Políticas de seguridad energética, diagnóstico y líneas de acción*” elaborado por el Ministerio de Minería y Energía en agosto del año 2006, el cual tenía por primera autoridad a la ex ministra Karen Poniachik.

Consecuentemente, la producción de energía en base a la quema de hidrocarburos, genera graves problemas asociados a la salud de la población, además de la pérdida y deterioro acelerado del medio ambiente en el territorio; ejemplo claro de esta situación, es la comuna de Huasco<sup>3</sup> en la cuarta región de Coquimbo, Chile, donde literalmente Mauricio Becerra titula: “*las termoeléctricas envenenan Huasco*<sup>4</sup>”.

---

<sup>3</sup> En Huasco se emiten a diario 118,2 toneladas de CO<sub>2</sub>, generadas por la central termoeléctrica Guacolda y una planta de Pellets (tipo de combustible comprimido y desarrollado en base a madera) de la Compañía Minera de Pacífico.

<sup>4</sup> “*Los lugareños se mueren de enfermedades respiratorias, se arruinó el cultivo de aceitunas y los peces se han ido de la costa*” (Becerra, 2010).

## 1.2 Contexto Local:

Chile, debe concebir a las ERNC, no como un recurso marginal, sino como un suministro de importancia para la red troncal y para los usuarios finales (Universidad de Chile et al, 2008). En esta dirección apuntan los esfuerzos del gobierno chileno con principalmente 3 líneas de acción:

- i. Marco regulatorio favorable, con las disposiciones de la nueva Ley de ERNC, que introduce metas obligatorias a las empresas generadoras, las que deberán asegurar a partir del año 2010, que un 5% de su abastecimiento a distribuidoras y clientes libres provendrá de ERNC, aumentando dicho porcentaje en 0,5% anual a partir de 2015, para llegar a un 10% el año 2024.
- ii. Créditos o leasing a largo plazo para incentivar a los privados a invertir en el negocio de las ERNC, a través de CORFO<sup>5</sup>.
- iii. Subsidio a Estudios de Preinversión en la Etapa Avanzada para proyectos de ERNC, a través de CORFO<sup>6</sup>.

Lo anterior, evidencia el interés de nuestro país en poseer energías nuevas y amigables con el medio ambiente, además de la diversificación e independización, a lo menos en parte, de la matriz energética nacional.

Sin embargo, en el contexto de las potencialidades energéticas que Chile posee de Norte a Sur y de cordillera a mar, por sus distintos tipos de clima, topografía y geografía, queda de manifiesto que las anteriores medidas representan solo un primer paso en la búsqueda de nuevos horizontes energéticos “limpios” no dependientes de

---

<sup>5</sup> Crédito Corfo de Energía Renovables No Convencionales, de largo plazo o leasing bancario que financia inversiones de empresas privadas que desarrollen sus actividades productivas en el país para la implementación de proyectos de generación y transmisión de Energías Renovables No Convencionales ERNC y de proyectos de ERNC para usos distintos de generación y distribución eléctrica.

<sup>6</sup> Subsidio para cubrir parte de los costos de estudios en fases avanzadas, para proyectos de generación de energía eléctrica sobre la base de fuentes renovables no convencionales

otros países; aunque la nueva ley de ERNC sea más bien ambiciosa, aún queda mucho potencial por explotar (Raineri, 2010).

Respecto a las potencialidades que el territorio nacional posee, se puede decir que es rico en lo que a Energías Renovables respecta, “...ya que goza de 200.000 MW de la irradiación solar más potente del mundo, 10.000 MW proveniente de los ríos más torrentosos y 5.000 MW de fuertes vientos, además de un gran potencial en biomasa y geotermia, aún no cuantificado.” (Estrategia, 2010).

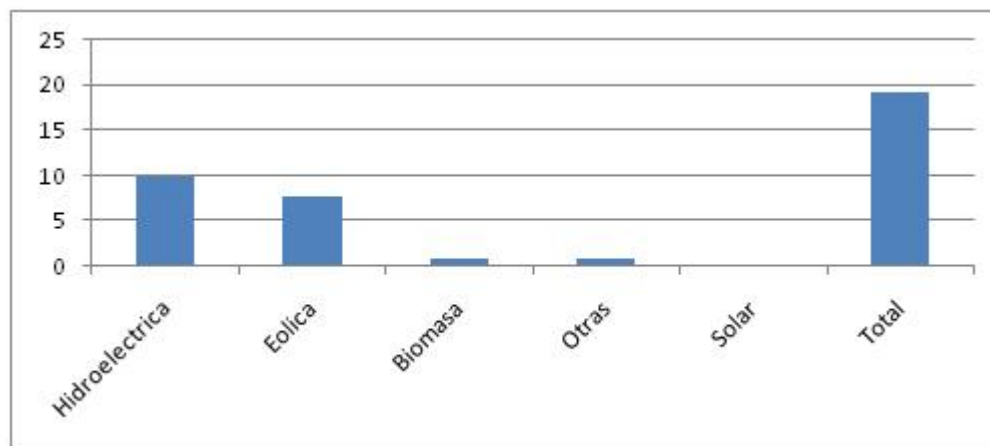
Según lo anterior, se considera que lo propuesto por la nueva ley de ERNC, es una apuesta aún pretenciosa para el contexto en cual se encuentra el país, ya que la producción de este tipo de energía solo alcanza al 2,4 % al año 2008 (CNE, 2009).

### 1.3 Experiencias internacionales:

Actualmente existen países que ya han avanzado en materia de ERNC, tales como Alemania, Australia, Dinamarca y España entre otros.

En el caso español, los registros indican que ya en el año 2006 la participación de las energías renovables en la matriz, constituía el 19.13 % del total de la energía consumida (Saldías y Ulloa, 2008), proponiéndose como meta final que al 2011 un 30% del total de la energía en España provenga de ERNC (Saldías y Ulloa, 2008).

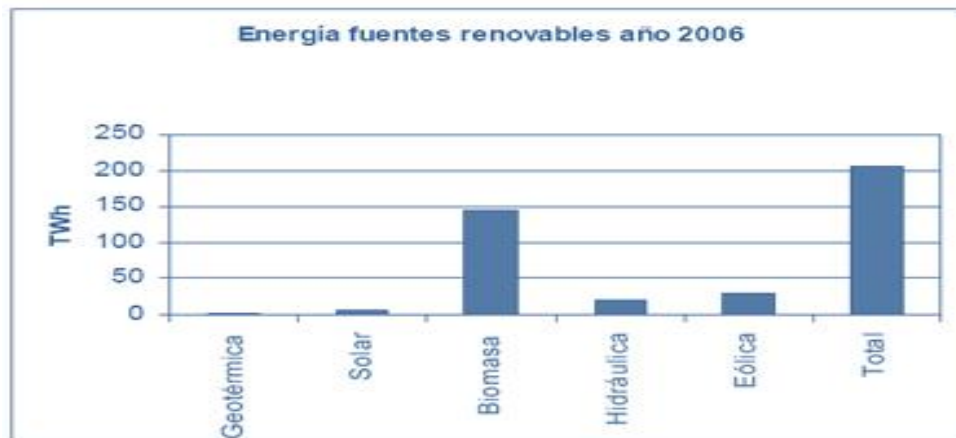
**Grafico N° 1: Participación de las ERNC en la generación eléctrica de España (2006).**



Fuente: Evaluación comparativa de centrales de generación de energías renovables mediante la aplicación de la nueva ley de energías renovables recientemente aprobada en Chile. (Saldías y Ulloa, 2008)

Otro caso es el alemán, donde la meta que se han trazado las autoridades germanas es que para el año 2010, la participación de las energías renovables sea al menos de un 12.5% y para el año 2020 sea de al menos de un 20%. A enero del 2007 la tasa de participación de energías renovables en el sistema alemán era de 11.6% (Saldías y Ulloa, 2008).

**Grafico N° 2: Fuentes de energía renovable en Alemania (2006).**



Fuente: Evaluación comparativa de centrales de generación de energías renovables mediante la aplicación de la nueva ley de energías renovables recientemente aprobada en Chile. (Saldías y Ulloa, 2008)

A nivel mundial, la tendencia y esfuerzos van en la misma línea, un ejemplo es la Agencia Internacional de Energía Renovable IRENA, (liderada por Alemania y otros países con ideas afines), donde se postula: “...Las energías renovables ofrecen una solución atractiva que merece la pena. La IRENA promueve decididamente el uso y la expansión de las energías renovables haciendo hincapié en las numerosas ventajas inherentes a estas fuentes energéticas...”<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> IRENA, Octubre del 2008, publicado por Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, Gobierno Federal Alemán.



**Figura N° 1: Mapa mundial con los estados miembros y asociados de IRENA.**



Leyenda: Rojo: Estados que han firmado y ratificado los estatutos de IRENA

Azul: Estados que han firmado los estatutos de IRENA

Plomo: Estados no miembros.

Fuente: [www.irena.com](http://www.irena.com)

Reafirmando la tendencia, el experto en ERNC, profesor de la Universidad de Chile y socio fundador de la International Solar Energy, Roberto Román, dijo: “*Las Energías Renovables No Convencionales deben convertirse en el sustento energético del siglo XXI*” (2009).

Actualmente se presentan enormes desafíos: calentamiento global, agotamiento de los recursos naturales, crecimiento de la población, creciente demanda energética y aumento de precios de la energía. Todos estos factores contribuyen a que exista la necesidad urgente de transformar el sector energético basado principalmente en combustibles fósiles en uno sostenido en energías renovables (IRENA 2008).

Las ERNC son una posible y atractiva solución a las dificultades y desafíos medioambientales que en la actualidad aquejan al planeta. La comunidad internacional y las autoridades locales, otorgan una importancia cada día mayor a este tipo de energías, ya que es una pieza-solución importante, dentro de la problemática medioambiental.

En este contexto, Chile, debe aprovechar al máximo sus recursos y fuentes naturales para la generación de ERNC, dando un paso hacia adelante en materia de energía.

#### **1.4 Potencial chileno para la generación de ERNC:**

Las potencialidades territoriales presentes en el país, debido a su variada geografía, permiten que se generen condiciones ideales para la producción de diversos tipos de ERNC, destacando:

- **Energía Eólica:** El Norte y Sur de Chile presentan condiciones ideales para el establecimiento de parques eólicos. Se deben realizar estudios y prospecciones de la capacidad energética de los vientos. Precisamente en el Sur es donde se encuentra el primer parque eólico del país conectado a la red eléctrica: Parque Alto Baguales, Aysen, con una capacidad de 2 MW.
- **Pequeña Hidroeléctrica:** En Chile la Comisión Nacional de Energía las define como centrales con una capacidad instalada de hasta 20 MW<sup>8</sup>, aunque la Comisión Europea considera como tal, las que no sobrepasan los 10 MW, y hay países en que los límites son tan bajos como 1.5 MW y otros como China que poseen un límite de 30 MW. El impacto ambiental, al contrario de las grandes hidroeléctricas, es mínimo. En Chile el potencial se encuentra ubicado en las zonas centro y sur (Esperant, 2010). Hasta el momento se cuenta con aproximadamente 110 instalaciones de este tipo.
- **Energía Solar:** Este tipo de energía presenta un alto potencial especialmente en la zona norte del país. El problema es el aún bajo rendimiento en el sistema de conversión energética de las celdas fotovoltaicas.
- **Energía proveniente de Biomasa:** Es aquella producida por cualquier tipo de desecho proveniente de materia orgánica. Esta energía tiene altas expectativas debido a 3 puntos fundamentales: a) Alto nivel técnico tanto en el sector forestal como agrícola; b) Grandes extensiones de tierras

---

<sup>8</sup> En países como España el Plan de Energías Renovables (PER), elaborado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, clasifica como mini (pequeñas) centrales hidroeléctricas a las que tienen una potencia máxima instalada de 10 MW.

susceptibles de ser utilizadas para cultivos energéticos; c) Gran cantidad de desechos provenientes de actividades silvoagrícolas.

- **Geotérmica:** La energía geotérmica corresponde a la energía calórica contenida en el interior de la tierra, transmitida por procesos de conducción térmica hacia la superficie, poseyendo potencial en todo Chile. Actualmente, se desarrollan numerosos estudios de prospección y evaluación del recurso por parte del Servicio Nacional de Geología y Minería, universidades y empresas privadas.
- **Mareomotriz:** Corresponde a la energía cinética capaz de transmitir las mareas. Si bien Chile posee grandes extensiones de costa, no existen en el mundo proyectos que sean realmente eficientes, por lo que aún falta mayor desarrollo tecnológico para que sea una fuente energética viable. Es actualmente una de las ERNC más costosas junto a la fotovoltaica y geotérmica.

(www.ecodesarrollo.cl, 2010)

De acuerdo a lo anterior, Chile debe buscar una estrategia de producción energética general (abastecimiento y generación) inteligente, eficiente y eficaz, ambientalmente amigable, y por lo tanto, cada vez más basada en las Energías Renovables No Convencionales, para así, conseguir una independencia energética que asegure y avale el desarrollo y crecimiento económicos, traducido en su expresión última como en un mejoramiento en la calidad de vida de todos los chilenos (Gonzalez, 2010).

### 1.5 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, una pieza de la solución.

El necesario cambio en las matrices energéticas, desde combustibles fósiles a energías renovables y energías renovables no convencionales, es un hecho en Chile y el mundo.

El reemplazo de fuentes de energía tradicionales (diesel, fuel y carbón) a ERNC como la pequeña hidráulica, debe ser tomado como un objetivo a corto plazo, más aún considerando las ventajas con las que cuenta Chile, experiencia (más de 80 años<sup>9</sup> en mini-hidráulicas) (Gho, 2009)) y recursos naturales. Sumado a esto, se tiene la necesidad, aún no urgente, de hacerlo.

El potencial chileno para las ERNC, es sin lugar a dudas privilegiado, ya sea por la cantidad de energía que eventualmente se podría llegar a generar, por la diversidad de energías que es factible desarrollar y por la amplia variedad de zonas o lugares que ofrece el territorio nacional para su posible usufructo.

Los recursos hídricos de Chile no son pocos, pero si están desigualmente distribuidos en el territorio. *“Chile es uno de los países privilegiados en cuanto a disponibilidad de recursos hídricos de superficie a nivel mundial, y cuenta con una de las mayores reservas en campos de hielo norte y sur. Sin embargo nuestros recursos hídricos están desigualmente distribuidos, debido a causas físicas y climáticas. En la zona norte 500 metros cúbicos/habitante/año, y en algunas zonas del sur 160.000 metros cúbicos/habitante/año”*. (Mundaca en CEPRID<sup>10</sup>, 2009).

<sup>9</sup> Micro Centrales Hidroeléctricas de Gorbea (1926), Loncoche (1927) y Termas de Puyehue (1938).

<sup>10</sup> El Centro de Estudios Políticos para las Relaciones Internacionales y el Desarrollo (CEPRID) es una organización no lucrativa, independiente e integrada por activistas, profesionales y académicos preocupados por los efectos de la globalización política y económica. Su finalidad es promover la discusión democrática sobre los asuntos políticos, económicos, estratégicos, geopolíticos, sociales y ambientales que más afectan a la vida de los ciudadanos y hacerlo de una forma rigurosa y comprensible ([www.nodo50.org/ceprid](http://www.nodo50.org/ceprid)).

En específico, las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas tienen potencial desde la V región de Valparaíso hacia el Sur<sup>11</sup> (Esperant, 2010), siendo las regiones del Maule, Bío Bío, Araucanía, de los Ríos y de los Lagos (VII, VIII, IX, XIV y X respectivamente), las con mejores aptitudes desde el punto de vista físico y social, debido a la abundancia de la materia prima o recurso principal agua, y a que se encuentran dentro del área de abastecimiento del Sistema Interconectado Central<sup>12</sup> (SIC).

Se piensa que la IX región de la Araucanía es representativa de las potencialidades mini-hidro chilenas, tanto por los regímenes pluviales de sus ríos, como por su ubicación geográfica y las precipitaciones que tiene la zona. El área de estudio, presenta una media anual de 1.630 mm. Con valores que oscilan entre los 800 mm. anuales en los sectores bajos y 4000 mm. anuales en la parte alta de la cuenca del río Imperial (Pladeco de Curacautín, 2008).

La pequeña hidráulica es una posibilidad cierta y concreta a los problemas medio ambientales y en cierto grado sociales que Chile presenta en la actualidad. Este tipo de energía, se presenta como una opción limpia, segura, eficiente, competitiva y con alta aceptación en la comunidad (Grotz, 2010).

Lo anterior, sumado a la dependencia energética de hidrocarburos, con su respectiva y habitual volatilidad de precios (Rudnick, 2006), a la escasez de energía nacional y las nuevas iniciativas e instrumentos de fomento otorgadas por el Estado para la promoción de las ERNC, dan un marco inédito e inmejorable para el desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, aunque más adelante se verán algunas de las deficiencias del sistemas y barreras que deben enfrentar las PCH.

---

<sup>11</sup> Sin olvidar que es posible encontrar Pequeñas Centrales Hidroeléctricas hasta en la IV región de Coquimbo.

<sup>12</sup> Abastece a más del 90% de la población chilena y produce casi el 70% del total de la energía generada en Chile ([www.cne.cl](http://www.cne.cl))

## **II. Área de estudio:**

### 2.1 Contexto regional.

La IX Región de La Araucanía está ubicada en el centro sur de Chile, su capital es la ciudad de Temuco distante 670 km de Santiago. Se extiende entre los paralelos 37° 35' y 39° 37', desde la Cordillera de Los Andes hasta el Océano Pacífico. Limita al norte con la Región del Bío Bío y al sur con la Región de Los Ríos (Prochile, 2006).

La superficie total de la IX Región corresponde a 31.842,3 km<sup>2</sup>, lo que representa el 4,2% del territorio nacional. Administrativamente está dividida en dos provincias: Malleco y Cautín, y en 32 comunas (Prochile, 2006).

#### 2.1.1 Clima.

En la región se observa una transición entre los climas de tipo mediterráneo con degradación húmeda y los climas templado-lluviosos con influencia oceánica, distinguiéndose: Clima templado cálido con estación seca corta; clima templado cálido lluvioso con influencia mediterránea; clima templado frío-lluvioso con influencia mediterránea y clima de hielo de altura (Iepe, 2005, extraído de Prochile 2006).

#### 2.1.2 Población.

De acuerdo al censo de 2002 la población de la Región de La Araucanía asciende a 869.535 habitantes, lo que representa el 5,8 % del total nacional. El 68% de la población es urbana, y el 32% restante rural, esta última con un alto porcentaje perteneciente a la etnia mapuche. La densidad regional es de 27,31 hab/km<sup>2</sup> (Mideplan, 2005, extraído de Prochile 2006).

### 2.1.3 Economía.

Una de las principales actividades económicas de la región es la silvoagropecuaria, destacando los cultivos tradicionales de cereales como *trigo*, *avena*, *cebada* y *raps* además de la *papa* y el *lupino*. Es destacable la producción pecuaria, especialmente en el rubro de *bovinos* (INE, 2004, extraído de Prochile 2006).

### 2.1.4 Hidrografía.

La región se caracteriza por la presencia de dos hoyas hidrográficas, la del río Imperial al norte y la del río Toltén al sur. Su comportamiento se define como ríos tranquilos y regulados por cauces precordilleranos (Biblioteca del Congreso Nacional, 2010). Es necesario precisar que una parte de la cuenca del río Bío Bío se encuentra ubicada en la zona más septentrional de la Araucanía, sin embargo, dicha cuenca está asociada a la VIII región del Bío Bío.

El río Imperial se forma próximo a la localidad de Nueva Imperial, de la unión del Cautín, que proviene del oriente y del Chol Chol por el norte. Su régimen de alimentación es mixto pero sus mayores aportes de agua se producen en invierno, por lo tanto, posee un régimen pluvial. El caudal medio anual del río Imperial es de 240 m<sup>3</sup>/seg. (Biblioteca del Congreso Nacional, 2010).

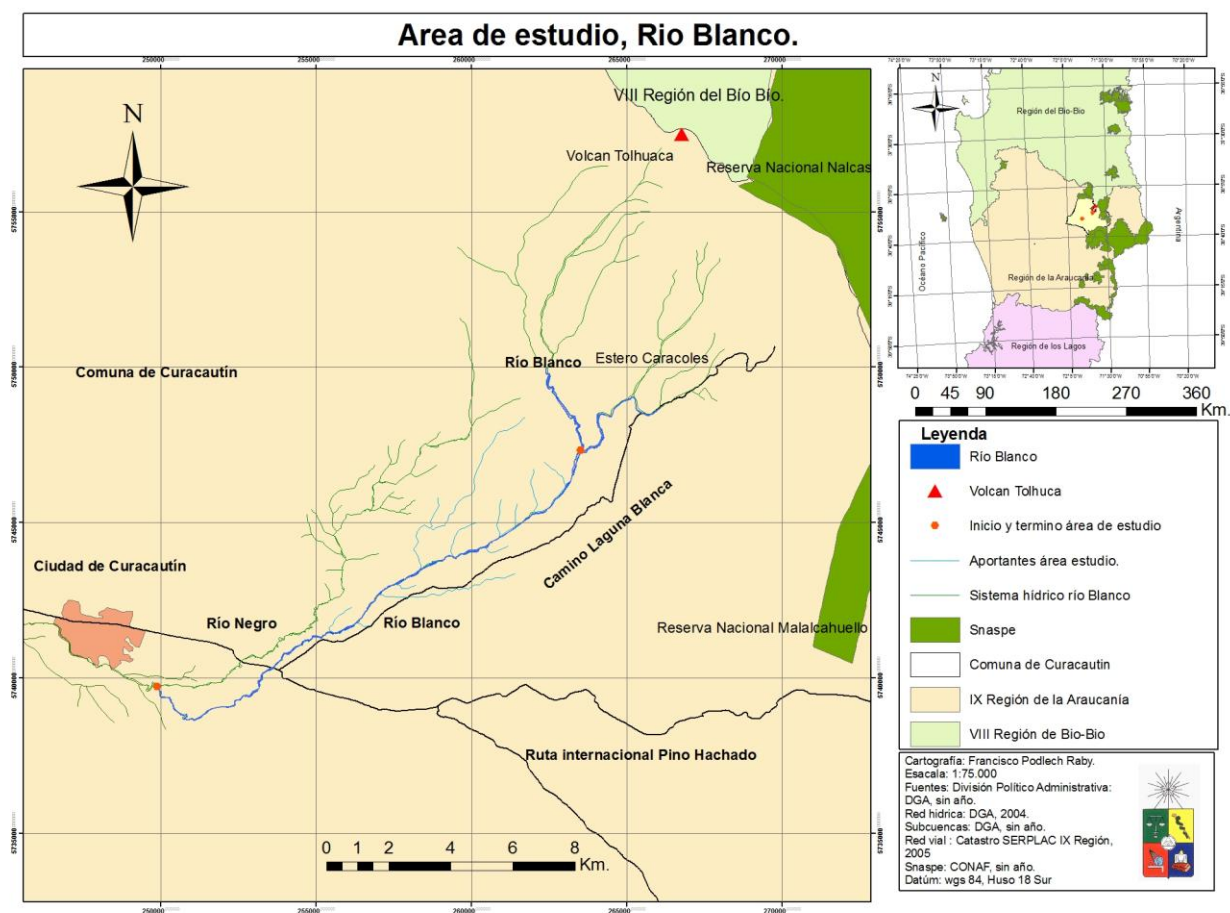
El río Imperial posee una hoya hidrográfica que cuenta con una extensión de 12.054 kilómetros cuadrados. En su parte superior, se encuentran las cumbres nevadas de los volcanes Llaima, de 3.124 metros, y Tolhauaca con 2.780 metros (Biblioteca del Congreso Nacional, 2010). De la ladera Nor- Poniente de este último, nace el río Blanco, producto principalmente de lluvias invernales y en menor medida de los deshielos.



El Río Blanco objeto de la presente investigación, se encuentra ubicado dentro de la hoya hidrográfica del río Imperial, en la subcuenca del río Cautín y en la subsubcuenca llamada “Río Cautín entre Estero Collico y bajo junta Río Blanco<sup>13</sup>”.

El Blanco tiene como principal afluente en su parte alta al estero caracoles, dicha confluencia es el inicio del área que el presente estudio tiene como propósito analizar.

Figura N° 2: Río Blanco, Contexto general área de estudio.



<sup>13</sup> Información obtenida en base a elaboración propia bajo el manejo y manipulación de coberturas a escala 1:250.000 de la Dirección General de Aguas DGA, sin información de año.

Figura N° 3: Cuencas de la IX región de la Araucanía.

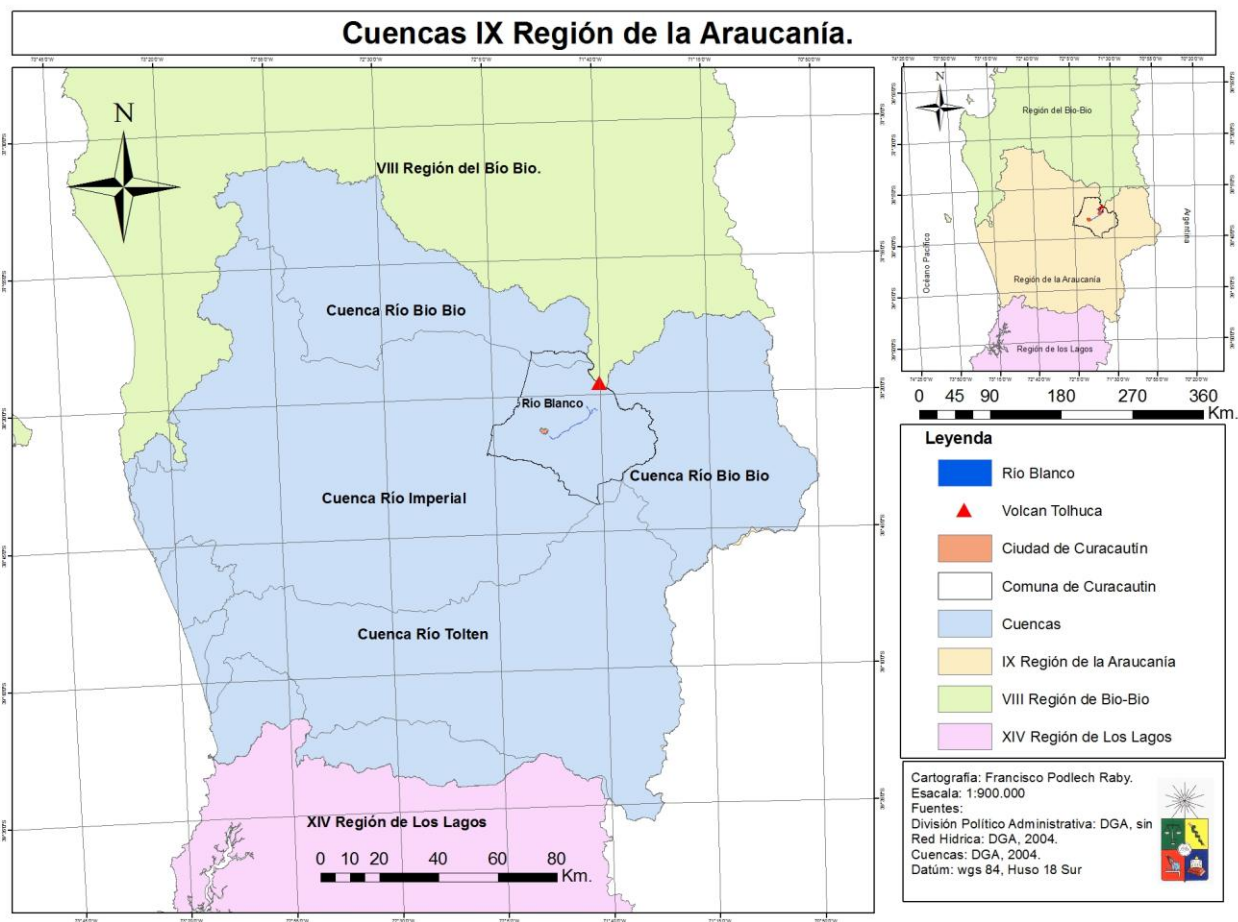


Figura N° 4: Subcuencas IX Región de la Araucanía.

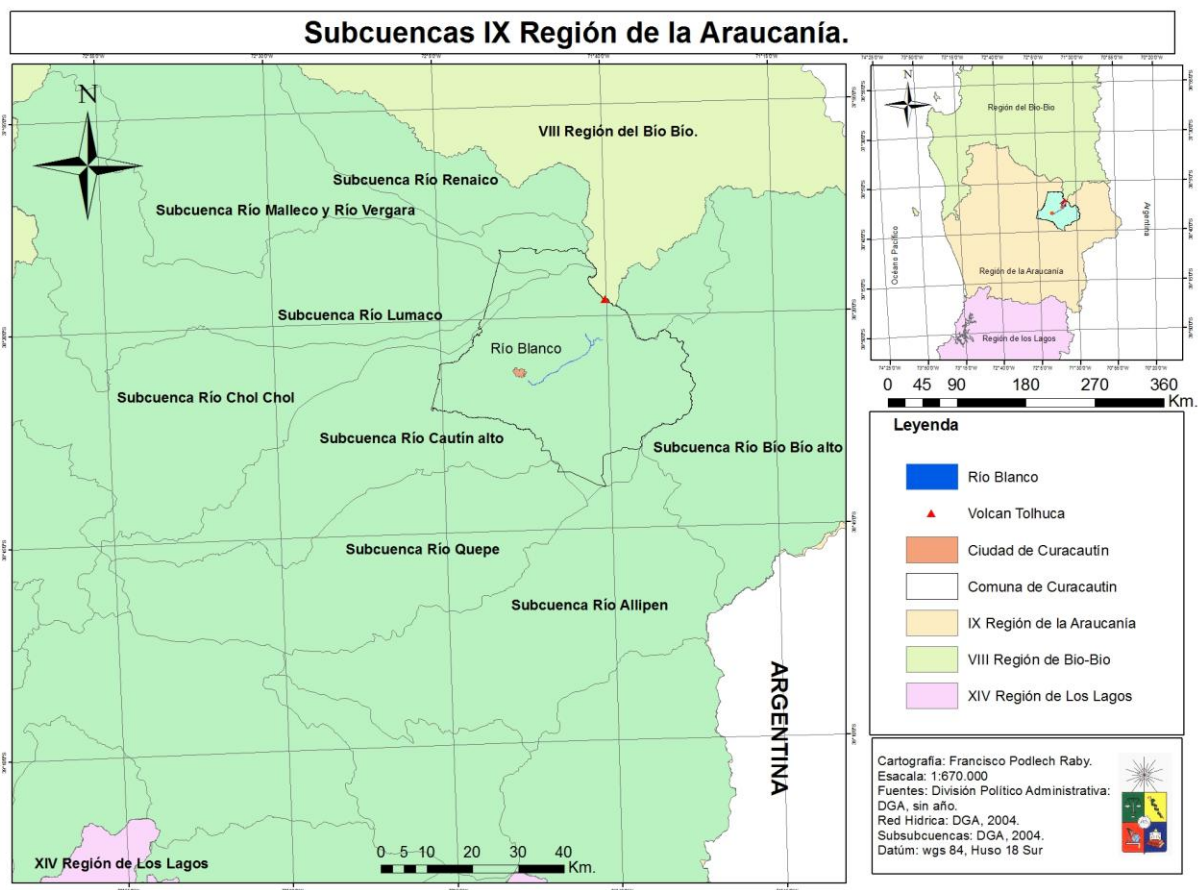
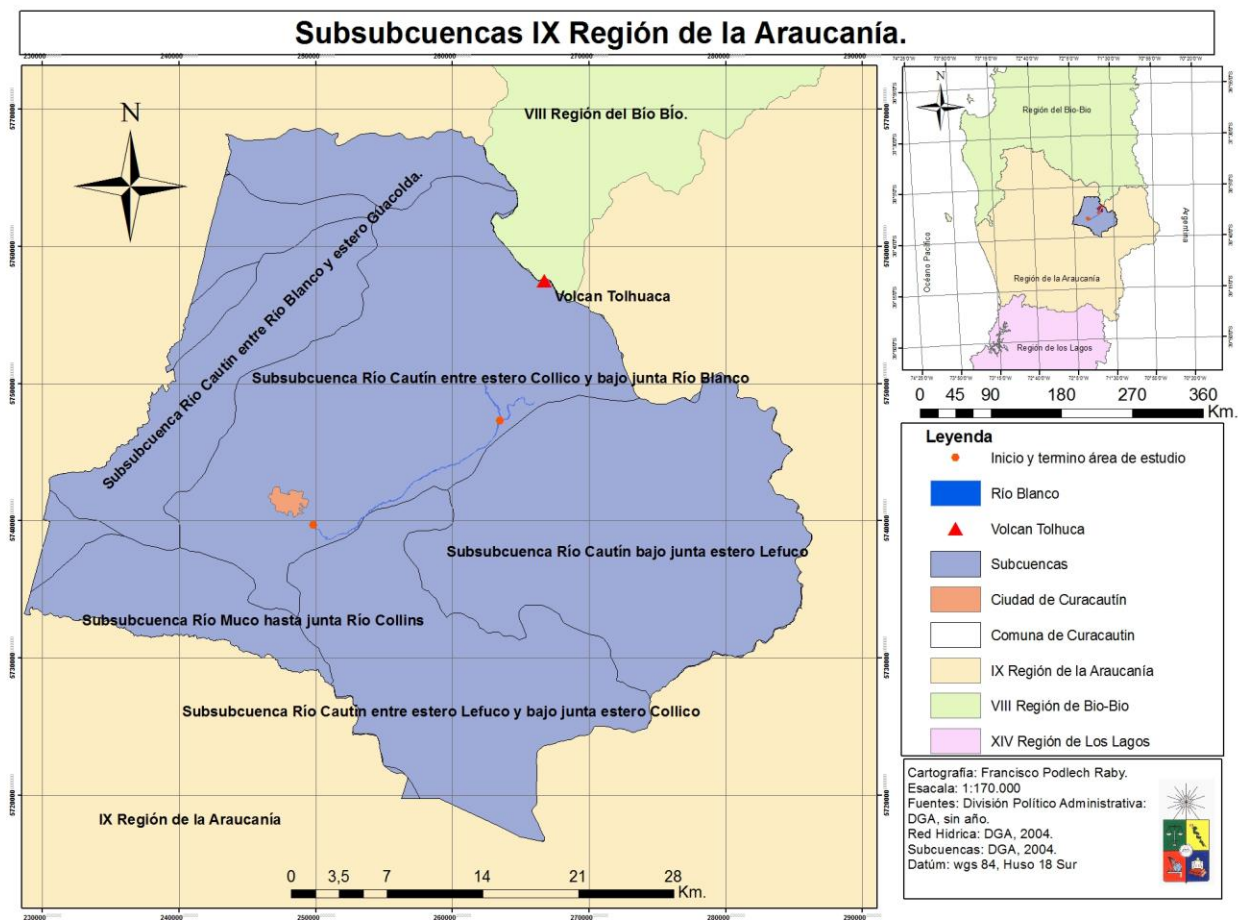


Figura N° 5: Subsubcuencas comuna de Curacautín.



### 2.2.1 Contexto local:

El área de estudio se ubica en la Novena región de la Araucanía, provincia de Malleco, comuna de Curacautín.

Esta comuna es una de las mejor dotadas en recursos hídricos de la Región, contando con una importante red fluvial que se usa tanto para actividades productivas como recreativas (Pladeco Curacautín, 2008).

Tabla N° 1: Red hídrica Curacautín.

Sistema	ríos	esteros		Lagunas
Cautín	Cautín	Tres arroyos	Agrio	Arco Iris
	Colorado	Coloradito	El Claro	Blanca
	Blanco del Tolhuaca	Huamachuco	Vergara	Captrén
	Indio	Manzanoco	La Gloria	El Negro
	Dillo	Loncopira	Ñanco	Queule
	Blanco de Sierra Nevada	Pidenco	Lefuco	
	Captrén	Rarirruca	Hueñivales	
	Negro	Collihuanqui	Collico	
	Amantible	Malleco	Violén	
	Muco			
Malleco	Ñiblinto		Colorado	Malleco
	Quino			
	Malleco			

Fuente: Plan de Desarrollo Comunal de Curacautín, año 2008.

El cauce seleccionado es el río Blanco (del Tolhuaca) en su tramo comprendido entre la Junta del río Blanco-estero Caracoles y la Junta río Blanco-río Negro. Dicho trayecto posee una longitud aproximada de 20 kilómetros, y una diferencia de altura de 578 Mt, que va desde los 405 msnm en la parte baja a los 983 msnm en la parte superior<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Información obtenida en trabajo de terreno.

### 2.2.1.1 Hidrología río Blanco:

El río Blanco posee un régimen pluvial, con sus mayores caudales en invierno y bajos escurrimientos en verano (DGA, 2004).

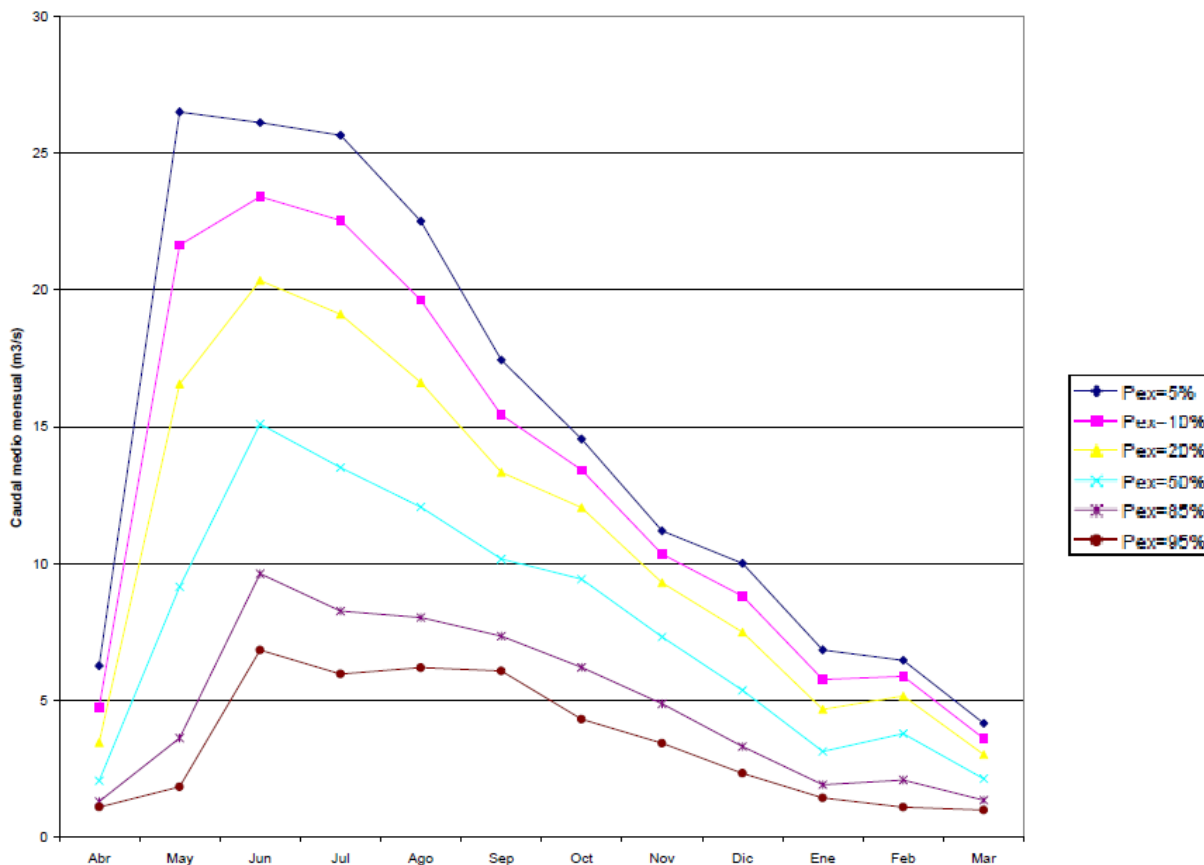
En años húmedos los mayores caudales se presentan entre mayo y agosto, producto de lluvias invernales, mientras que los menores lo hacen entre enero y abril (DGA, 2004).

En años secos los caudales se observan bastante uniformes a lo largo del año, con leves aumentos entre junio y septiembre, y disminuciones entre enero y mayo (DGA, 2004). (ver Anexo N° 1).

El gráfico N° 3 muestra la probabilidad de excedencia (PEX) que presenta el río Blanco en su estación fluviométrica ubicada al sudeste de la comuna de Curacautín. (ver Anexo N° 2).

PEX, se entiende como la probabilidad de que el caudal medio mensual del río Blanco, supere cierta cantidad de metros cúbicos por segundo, se puede apreciar por ejemplo que hay un 85 % de probabilidad de que en los meses de Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre halla un caudal medio mensual superior a los cinco metros cúbicos por segundo.

**Gráfico N° 3: Curva de variación estacional río Blanco en Curacautín**



Fuente: estudio DGA, 2004.

Pex: Probabilidad de Excedencia.

### 2.2.1.2 Clima:

El clima de la comuna de Curacautín se puede definir a grandes rasgos como un mediterráneo templado lluvioso (Iepe, 2005 y Pladeco de Curacautín, 2008), sin embargo y más específicamente, este tipo de clima presenta variaciones desde la costa a la cordillera andina, adquiriendo diversas características relacionadas con el relieve. De esta forma, dentro de la misma comuna se pueden reconocer las siguientes variedades (Pladeco Curacautín, 2008):

- Clima mediterráneo marginal, con influencia oceánica que se desarrolla en el valle central y constituye el mejor clima de la región de la Araucanía (Pladeco Curacautín, 2008).
- Clima templado húmedo, oceánico y cordillerano, el cual se desarrolla en las zonas de las serranías centrales y precordillera (Pladeco Curacautín, 2008).

La variedad climática de la comuna de Curacautín, aunque básicamente se reconoce en amplios sectores donde se manifiestan un clima templado húmedo o un clima mediterráneo marginal, también presenta sectores donde por efecto de las alturas preandinas, están presentes las características de un clima templado-frío, según el Instituto Geográfico Militar: *“Hacia el Este, hasta las primeras estribaciones andinas, las precipitaciones alcanzan valores de hasta 2.500 mm y el número de días secos puede ser inferior a 100 y hasta inferior a 50”* (extraído de Pladeco Curacautín 2008)

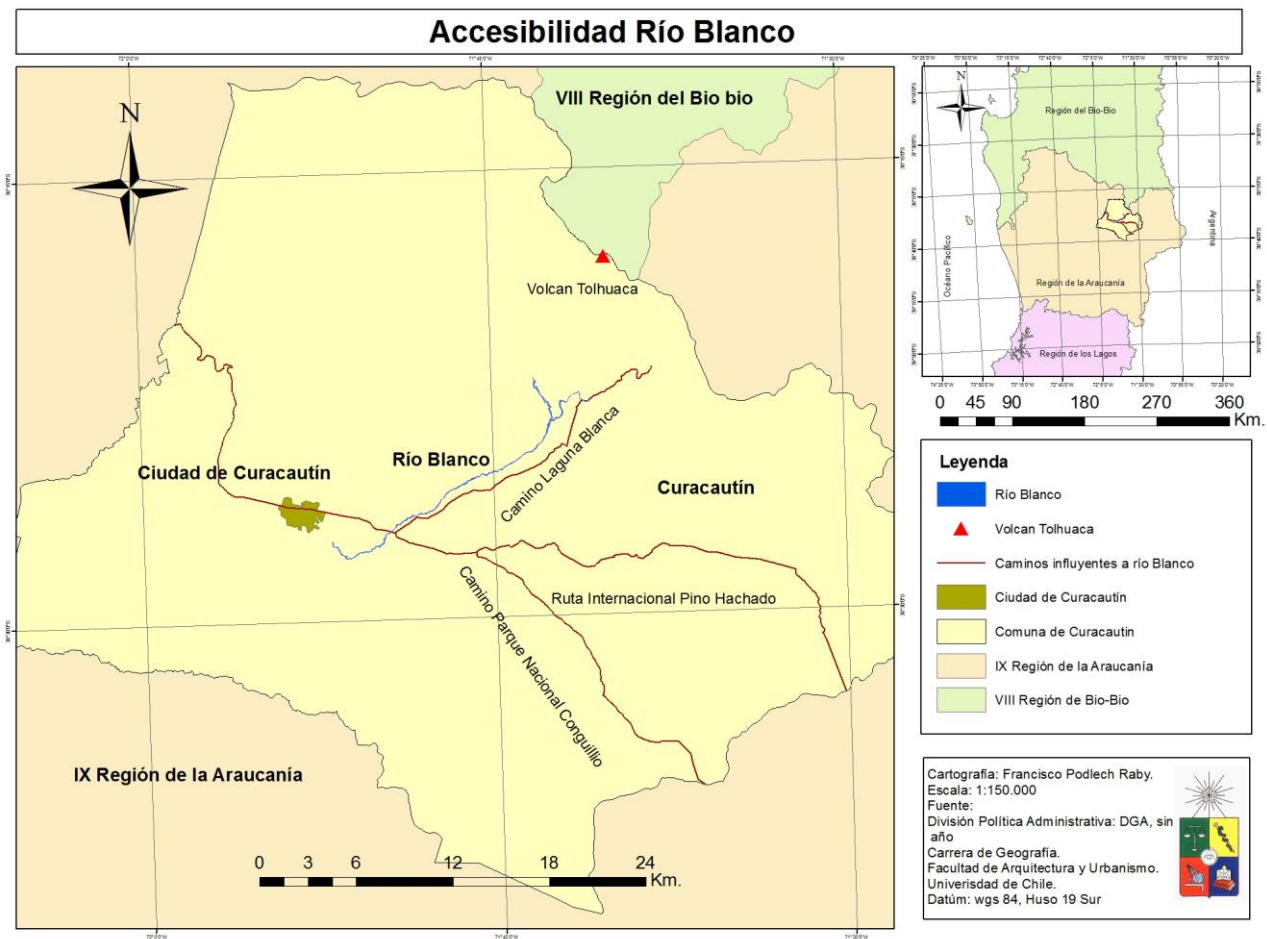
#### 2.2.1.3 Accesibilidad:

El área de estudio posee una buena accesibilidad con 2 caminos pavimentados y un tercero de ripio en buen estado:

- i. Ruta Victoria – Curacautín – Túnel Las Raices – Paso Pino Hachado, kilómetro 5 hacia el este desde Curacautín (pavimento).
- ii. Camino Parque Nacional Conguillío kilómetro 3 hacia el poniente (pavimento).
- iii. Camino Laguna Blanca hacia el Nor-Este (ripió en buen estado).



Figura N° 6: Accesibilidad área de estudio.



### **III. Objetivos.**

#### **3.1 Objetivo General:**

Determinar el potencial del río Blanco, en el tramo Junta río Blanco-estero Caracoles - Junta río Blanco-río Negro, para la localización de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH).

#### **3.2 Objetivos específicos:**

- Identificar los aspectos y requerimientos básicos para la instalación y funcionamiento de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el tramo Junta río Blanco-estero Caracoles - Junta río Blanco-río Negro.
- Zonificar y categorizar el área de estudio en función de la factibilidad de emplazamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas.
- Elaborar cartografía de sitios óptimos de emplazamiento para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, en el tramo Junta río Blanco-estero Caracoles - Junta río Blanco-río Negro.

#### **IV. Hipótesis:**

- El río Blanco ubicado en la provincia de Malleco, IX región de la Araucanía, en su tramo Junta río Blanco-estero Caracoles - Junta río Blanco-río Negro, debido a sus características físico-naturales, posee un alto potencial para la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas.

## **V. MARCO TEORICO CONCEPTUAL:**

### **5.1 Aspectos generales:**

La imperante necesidad de procesos productivos limpios en general, y de energías sustentables en particular que existe en el planeta, es sin lugar a dudas una tarea pendiente.

La insostenibilidad del sistema a nivel mundial se debe en gran parte al modelo económico hacia el cual nos ha conducido la civilización industrial (Arregui, 2005), donde se evidencia que al presente ritmo no es posible continuar; de seguir así, es probable que los recursos naturales se agoten, los ecosistemas se destruyan y que la calidad de vida de las generaciones venideras en el planeta se vea hipotecada.

De esta forma se debe buscar un enfoque en el que se compatibilicen los aspectos ambientales, con los económicos y los sociales (Arregui, 2005), desde un punto de vista sostenible e equitativo.

## 5.2 Energía Sustentable

En respuesta a lo anterior, hace ya décadas<sup>15</sup> se está discutiendo y manejando el concepto de Desarrollo Sustentable o Sostenible, del cual hay un sinnúmero de definiciones, destacando las siguientes:

- *"El desarrollo es sustentable cuando satisface las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para que satisfagan sus propias necesidades". (Informe Bruntland o Our Common Future, 1987)*
- *"Desarrollo agropecuario y rural sustentable es la administración y conservación de la base de recursos naturales y la orientación de los cambios tecnológicos e institucionales de tal forma que aseguren el logro y la satisfacción permanentes de las necesidades humanas para el presente y las futuras generaciones. Dicho desarrollo sustentable (en los sectores agropecuario, forestal y pesquero) conserva la tierra, el agua, los recursos genéticos de los reinos animal y vegetal, no degrada el medio ambiente, es tecnológicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable". (FAO, 1992).*

---

<sup>15</sup> Conferencia sobre el Medio Ambiente Humano, Estocolmo 1972, informe Brundtland 1987, Río de Janerio 1992.

Cuando se conformó la Comisión del informe Brundtland, en 1983 como un cuerpo independiente de los Gobiernos y del sistema mismo de las Naciones Unidas, era ya unánime la convicción de que resultaba imposible separar los temas del desarrollo y el medio ambiente (Our Common Future).

Para Gómez Orea, el Desarrollo Sostenible se traduce en criterios de sostenibilidad técnicos medibles y controlables, basados en la relación del medio físico como soporte de las actividades humanas, formando un sistema armónico y funcional (Orea, 2002), *“En la medida de que la actividad esté integrada en su entorno físico natural será sostenible y contribuirá a la sostenibilidad del desarrollo”* (Orea, 2002).

Sin embargo y en consideración de lo antes expuesto, es necesario mencionar dos aspectos fundamentales de análisis al tema:

Primero, no existe en el planeta forma alguna de generar energía inocua para el medio ambiente o que no provoque afecciones a éste, al igual que la gran mayoría de los procesos productivos que el ser humano realiza (Soria, 2008), no obstante, hay tipos de energía que contaminan de forma diferencial el medio ambiente, inclusive algunas muy amigables, la cuales pueden considerarse como sustentables.

Segundo, la necesidad y demanda constante y creciente de energía que presenta la sociedad tanto en Chile como en el mundo es un aspecto que obliga a considerar un sin número de alternativas para la satisfacción de éstas, siendo una de las más aceptadas, la de poseer un *“mix”* en las matrices energéticas nacionales, en donde se encuentre la Energía hidráulica a gran escala, termoeléctricas, un porcentaje no menor de ERNC y hasta Energía Nuclear en alguno de los países más desarrollados.

Dicha demanda, constante y creciente se demuestra con cifras. En los últimos 20 años la demanda de energía eléctrica en Chile se ha incrementado en forma sostenida a una tasa promedio anual de 6,7%. (ACERA, 2008, Universidad de Chile et al, 2008), el ministro de energía Ricardo Raineri ha dicho en variadas ocasiones *“se debe duplicar la*

*disponibilidad de energía hacia 2020, actualmente de 10.702 MW en el SIC y de 3.684 en el SING<sup>16</sup>, para cumplir con los requerimientos energéticos del país”*

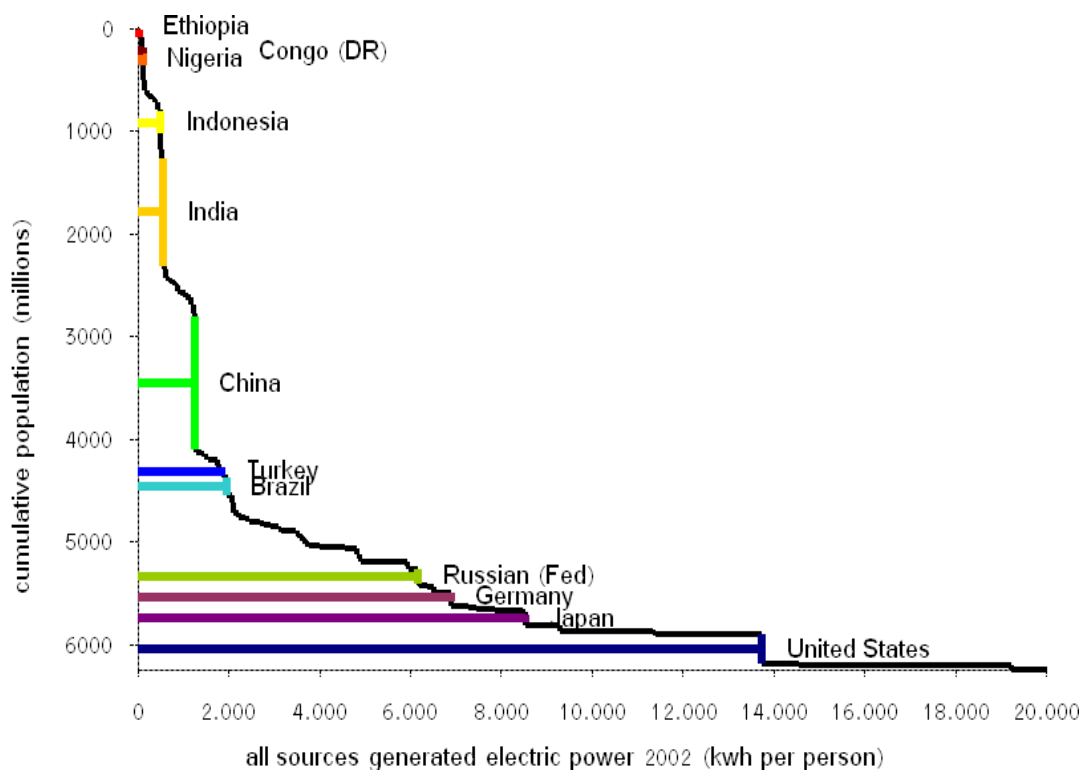
El suministro de energía impacta directamente en el desarrollo social y económico de los países, tal como se hace evidente en las palabras del ministro. De hecho, el crecimiento económico y el consumo energético van intrínsecamente ligados: a más energía utilizada, mayor crecimiento económico (Rudnick, 2006).

Las figuras N° 7, 8 y 9 presentan como se hace evidente la relación descrita por Rudnick, donde los países primer mundistas que poseen altos índices de calidad de vida, y que han alcanzado no tan solo el crecimiento económico (nivel de vida), sino más bien, el desarrollo en sus sociedades, presentan elevados consumos energéticos, al contrario, de aquellos países tercer mundistas donde reina la pobreza y la desigualdad.

---

<sup>16</sup> Sistema interconectado del Norte Grande, se extiende entre Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, decimoquinta, primera y segunda regiones de Chile, respectivamente, abasteciendo al 6,1 % de la población nacional (Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado del Norte Grande, 2010, (CDEC-SING).

Figura N° 7: Consumo energético a nivel mundial por países:



Fuente: Danny Dorling, en Worldmapper project, 2010.



**Figura N° 8: Mayores generadores de energía eléctrica por países (todos los recursos disponibles).**

Ranking	País	Kw/h (persona)	Ranking Inverso
1	Norway	28917	200
2	Iceland	28053	199
3	Canada	19214	198
4	Qatar	16838	197
5	Sweden	16406	196
6	Kuwait	15372	195
7	United Arab Emirates	14535	194
8	Finland	14404	193
9	United States	13721	192
10	Australia	11385	191

(Kwh por persona año 2002)

Fuente: Danny Dorling, en Worldmapper project, 2010.

**Figura N° 9: Menores generadores de energía eléctrica por países (todos los recursos disponibles)**

Ranking	País	Kw/h (persona)	Ranking Inverso
191	Nigeria	126,6	10
192	Democratic Republic of Congo	115,6	9
193	Congo	110,3	8
194	Sudan	88,1	7
195	Nepal	86,3	6
196	United Republic of Tanzania	82,5	5
197	Haiti	77,1	4
198	Ethiopia	29,6	3
199	Togo	11,0	2
200	Benin	9,5	1

(Kwh por persona año 2002)

Fuente: Danny Dorling, en Worldmapper project, 2010.

Así es como Chile, en la búsqueda del desarrollo sustentable, entendido éste como la satisfacción de las necesidades económicas, ambientales, sociales y culturales de la presente generación sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, y en la búsqueda de una mejor calidad de vida para sus habitantes, debe contar con una matriz energética variada y sustentable, tanto como los recursos de su territorio y geografía lo permitan.

### **5.3 Potencial de desarrollo endógeno.**

Juan Ramón Cuadrado define el concepto de Potencial de Desarrollo Endógeno<sup>17</sup> como: “... *la cantidad posible de bienes y servicios que un área puede llegar a producir mediante la eficiente utilización de los recursos disponibles...*”

Los recursos endógenos de un territorio son el conjunto de bienes, tanto naturales o no, que presenta un territorio como propios y que pueden ser capaces de generar y sostener el desarrollo del mismo. Es decir, los elementos y herramientas que dispone un territorio y que podemos aprovechar económicamente para crear rentas y empleo, de forma que se mejore la calidad de vida de la población (García, 2002).

Dicho concepto encaja en buen grado con la situación chilena, donde se posee un alto potencial de ERNC a lo largo y ancho del país, pero, que aún por razones económicas, normativas, legales y técnicas, aquellos recursos no son explotados.

Este “desaprovechamiento” de energía limpia y renovable se presenta como una contradicción en un país con las potencialidades y recursos como los que posee Chile.

La cantidad de aspectos positivos que presentan las ERNC como la ya mencionada estabilidad, seguridad e independencia energética, además de la producción de energía limpia, y sin olvidar las externalidades positivas, como “*generación de empleo en la zona de construcción, cumplimiento de tratados y acuerdos, y el aprovechamiento de forma descentralizada de los recursos que de una u otra forma no*

---

<sup>17</sup> Dentro de los recursos endógenos se incluyen todos los factores que pueden contribuir al desarrollo de un territorio, tales como los recursos materiales y aquellos que ofrece el entorno, las infraestructuras de transportes y comunicaciones, las infraestructuras urbanas, el capital físico y el capital humano, determinado éste último por el nivel de instrucción de la población, la aptitud para dirigir empresas y su capacidad innovadora, entre otros. Pero siempre subrayando el carácter localizado de estos factores, lo cual los vincula muy estrechamente al territorio (García, 2002).

*se están aprovechando”* (Ubilla, 2010), hacen que este tipo de energía sea extremadamente atractiva a un corto, mediano y largo plazos.

Idealmente, el aumento en la disponibilidad energética nacional, debería tener un importante aporte de ERNC, tal como lo señala su nueva ley, donde se espera mínimamente que al año 2024 el 10 % de la energía consumida en Chile debe provenir de estas fuentes. Más ambiciosa aún, son las metas impuestas por el actual gobierno, donde se espera que el 20 % de la energía eléctrica consumida en el país para el año 2020 provenga de ERNC.

Sin embargo, hay quienes llegan aún más lejos como Gabriel Sanhueza Suárez, en su documento “Energías renovables o energías obsoletas del siglo pasado”, donde expresa literalmente que podemos ser energéticamente independientes y libres de aquí (2008) a cinco años, con políticas audaces y eficientes que consideren a las ERNC como un pilar fundamental dentro del sistema energético nacional y un apropiado programa de eficiencia energética.

*“Para ello, sin embargo, hay que vencer las inmensas resistencias y presiones del lobby económico que hoy controla la energía. No escuchar, sobre todo en el gobierno como actor clave de este proceso, a quienes plantean soluciones energéticas añejas, costosas y con altos grados de dependencia”* (Sanhueza, 2008).

Las ERNC son una alternativa importante, pero no se debe olvidar que estas aún no tienen el desarrollo tecnológico suficiente para ser el pilar fundamental de un sistema energético nacional, sí un aporte importante a éste, pero no el principal, sobre todo cuando se tiene en cuenta que se trata de tecnologías que aún no tienen la capacidad de almacenar la energía producida.

#### 5.4 Energías Renovables No Convencionales (ERNC)

*“Las crisis energéticas de 1973 y 1979, originada por la brusca subida de los precios del petróleo, propició el desarrollo de los recursos renovables autóctonos e inextinguibles, en contraposición a los recursos fósiles, limitados en el espacio y en el tiempo”* (ESHA, 1998).

Se conocen como Energías Renovables aquellas que se producen de fuentes o recursos renovables alternativos (no convencionales), como lo son: el agua, el sol, el viento, las geotérmicas, la biomasa, las corrientes marinas y otras que debido a sus características no se agotan por el consumo humano y no generan residuos contaminantes.

Entre las fuentes de energías renovables están: la hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. Además, dependiendo de su forma de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables, la energía proveniente de la biomasa y la energía geotérmica. (CNE, 2010)

Las energías renovables suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten. Dentro de las convencionales, la más importante es la hidráulica a gran escala (CNE, 2010).

En Chile se define como fuentes de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) a la eólica, la pequeña hidroeléctrica (centrales hasta 20 MW), la biomasa y el biogas, la geotermia, la solar y la mareomotriz.

La implementación de ERNC en la matriz energética chilena supone no tan solo ventajas en aspectos medio ambientales inherentes a éstas, si no también suponen una *“contribución importante a la sustentabilidad del sistema eléctrico nacional. Esto significa una reducción de la vulnerabilidad y mejoramiento de la calidad del servicio,*

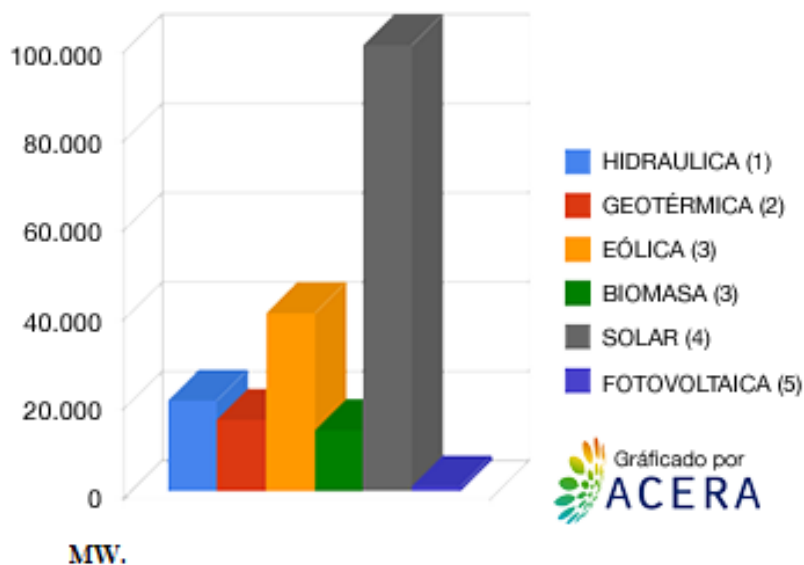
*disminución de la dependencia energética, aumento de la competitividad y productividad de las empresas, reducción de los impactos ambientales locales asociados a la producción y uso de la energía, reducción de la inequidad social, incremento del empleo local y acelerar el cumplimiento de la agenda ambiental nacional y los compromisos internacionales” (Universidad de Chile et al, 2008).*

Según un estudio de la Universidad de Chile en conjunto con la Universidad Santa María, se espera que las ERNC tengan un significativo aporte al abastecimiento eléctrico del SIC. El estudio planteo tres tipos de escenarios distintos sobre el aporte futuro de las éstas al Sistema Interconectado Central: conservador 29.600 GWh, dinámico 40.000 GWh y referencial 56.500 GWh con plazo al año 2025.

Estas estimaciones son un buen aliciente para el país en términos de energías amigables con el medio ambiente. En la actualidad los proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas han logrado el mayor desarrollo dentro de las ERNC, los que a juicio del autor, cargarán con el peso de las cifras antes mencionadas, ésto sin olvidar que el potencial para la energía solar en Chile es uno de los mejores a nivel mundial y ostensiblemente más oneroso que el de la hidráulica a pequeña escala.

El gráfico número 4 muestra el potencial bruto teórico que presentan al año 2025 las ERNC en Chile. Donde la energía solar por mucho es la con mayor potencial, seguida de la eólica y la hidráulica a pequeña escala.

**Gráfico N° 4: Potencial bruto ERNC, estimación 2025.**



Fuente: [acera.cl](http://acera.cl) año 2010.

## 5.5 Definición de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

No existe en la actualidad un consenso a nivel mundial sobre lo que se entiende por pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, Micro Centrales Hidroeléctricas (MCH) o Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH). En algunos países como Estados Unidos y China se definen como proyectos de 30 MW o menos (U.S DEPARTAMENTO OF ENERGY, 2010), miembros de la Unión Europea como Portugal, España, Irlanda, Grecia y Bélgica, consideran "pequeñas" todas las centrales cuya potencia instalada no supera los 10 MW. En Italia el límite parece situarse en los 3 MW (la energía procedente de plantas de mayor tamaño se vende a un precio sensiblemente inferior, entendiendo que las energías renovables no son tan competitivas como las convencionales) (ESHA, 1998), en Francia el límite está en 8 MW y el Reino Unido parece favorecer la cifra de 5 MW (ESHA, 1998).

Organismos como la Comisión Europea, la European Small Hydropower Association y la UNIPEDE (Unión Internacional de Productores y Distribuidores de Electricidad) optaron por definir estos pequeños aprovechamientos hidroeléctricos como aquellos proyectos que no superan los 10 MW de potencia instalada.

Para el GEF (Fondo Para el Medio Ambiente Mundial) en su documento “*Manuales sobre Energía Renovables, Energía hidroeléctrica a pequeña escala, 2002*”, estos aprovechamientos hidroeléctricos están definidos como aquellos que van desde unos cuantos vatios hasta los 5 MW.

En Chile, como se mencionó anteriormente, la Comisión Nacional de Energía define como PCH aquellos aprovechamientos que poseen como máximo 20 MW de capacidad instalada (CNE, 2010).



Dichas diferencias entre criterios para definir en esencia el mismo proceso de producción de energía limpia y renovable, radica en gran medida por los potenciales hídricos, geográficos y las expectativas de desarrollo, crecimiento (económicas) y políticas que cada país posee respecto al tema.

## **5.6 Tipos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas:**

Según el emplazamiento que posea la central para la generación de energía eléctrica, se pueden realizar las siguientes clasificaciones:

Cabe señalar que, cada uno de estos tipos de centrales o diseños, puede ser modificada según la morfología caso a caso que se presenten en las distintas zonas con potencial.

### **5.6.1 Central de agua fluyente o de pasada:**

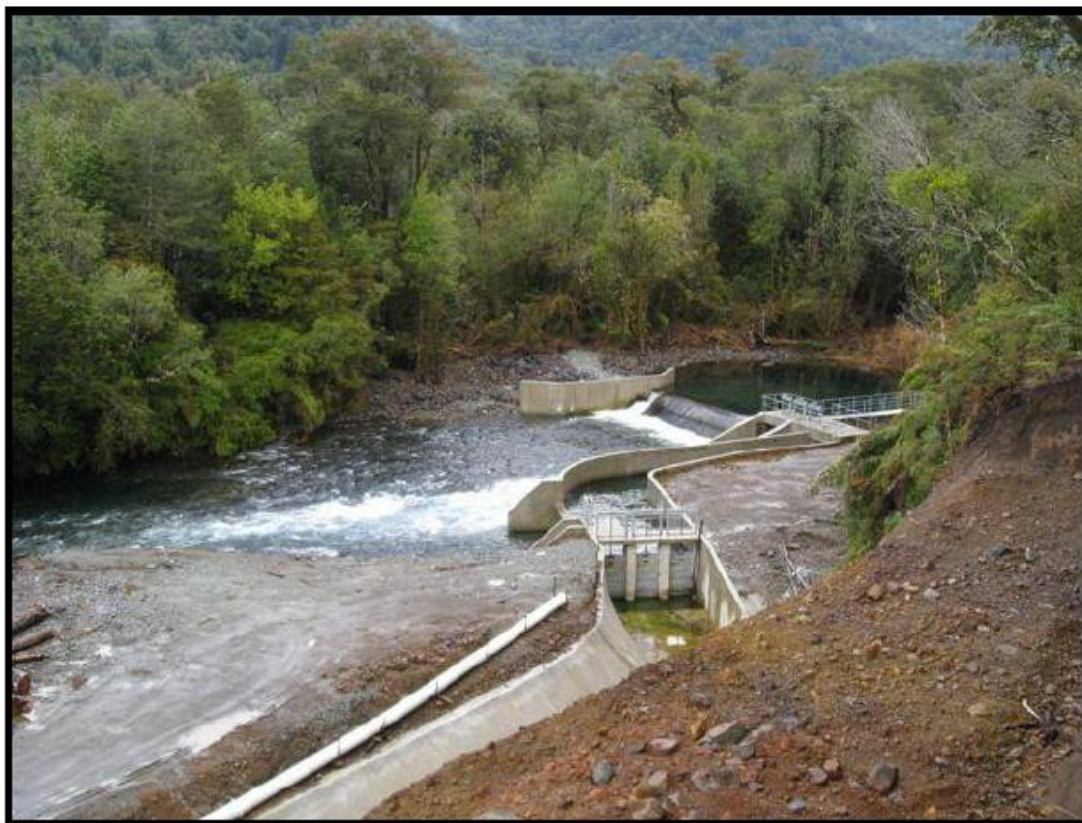
Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una bocatoma y a través de canales o tuberías se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica, el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río.

Dependiendo del emplazamiento, geomorfología y topografía del lugar donde se sitúe la central, será necesaria la construcción de todos o sólo algunos de los siguientes elementos:

- Azud: Pequeña barrera, utilizada para elevar el nivel del plano de agua.
- Toma o bocatoma: Construcción adecuada para recoger un caudal determinado desde el cauce.
- Canal de derivación: La función de estos canales es conducir los caudales de captación desde la obra de toma hasta el lugar de carga o distribución.
- Cámara de carga: Tanque de agua que permite regular la cantidad de agua necesaria para el funcionamiento de una central.
- Tubería forzada: Tubería de un diámetro establecido que tiene como función transportar el agua con la máxima cantidad de energía posible.

- Edificio central y equipamiento electro-mecánico: Espacio físico donde se transforma la energía cinética del agua a energía mecánica y posteriormente eléctrica.
- Canal de descarga: canal por el cual se devuelve al cauce el caudal utilizado para generar la energía.
- Subestación y línea eléctrica: Equipamiento necesario para transportar la energía producida.

**Figura N° 10: Ejemplo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas:**



Fuente: Micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas (Javier Gho, 2009).

Cabe mencionar que las centrales que se propondrá localizar en el presente estudio son del tipo “*Central de Agua Fluyente*”, también conocidas como centrales de pasada. Se ubican al borde de un Cauce Natural, no necesitan represamiento masivo de agua y son prácticamente inocuas para el medio ambiente en su funcionamiento. (ver esquematización en Anexo N° 3).

Dentro de este grupo hay diversas formas de realizar el proceso de generación de energía. La característica común a todas las centrales de agua fluyente es que dependen directamente de la hidrología ya que no tienen capacidad de regulación del caudal turbinado y éste es muy variable. Estas centrales cuentan con un salto útil prácticamente constante y su potencia depende directamente del caudal que pasa por el río (DGA, 2004).

En algunos casos se construye un pequeño azud en la toma de agua para elevar el plano de ésta y facilitar su entrada al canal o tubería de derivación. El agua desviada se conduce hasta la cámara de carga, de donde sale la tubería forzada por la que pasa el agua para ser turbinada en el punto más bajo de la central. (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España et al, 2006).

Para que las pérdidas de carga sean pequeñas y mantener la altura hidráulica, los conductos por los que circula el agua desviada se construyen con mínima pendiente, provocando que la velocidad de circulación del agua sea baja, puesto que la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España et al, 2006).

### 5.6.2 Central de pie de presa

Principalmente, corresponde a aquellas centrales situadas en embalses destinados a otros usos, como riego o abastecimiento de agua en poblaciones, dependiendo de los fines para los que fue creada la presa. Se turbinan los caudales excedentes y los que después servirán para riego u abastecimiento (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España et al, 2006).

Estas centrales se sitúan debajo de los embalses destinados a otros usos, y no afecta su capacidad, ya que aprovechan el propio funcionamiento de la presa. Éstas tienen la ventaja de almacenar el agua y poder emplearla en los momentos en que más se necesiten. Normalmente son las que regulan la capacidad del sistema eléctrico y con las que se logra de mejor forma el balance consumo/producción. Tienen salto variable (suele ser elevado) y suelen turbinar caudales importantes (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España et al, 2006). (Ver esquematización en Anexo N° 4).

Las obras e instalaciones necesarias para construir una minicentral al pie de una presa que ya existe son:

- Adaptación o construcción de las conducciones de la presa a la minicentral.
- Toma de agua con compuerta y reja.
- Tubería forzada hasta la central.
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico.
- Subestación y línea eléctrica.

Fuente: (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España et al, 2006)

## **5.7 Ventajas y desventajas de las Pequeñas Centrales hidroeléctricas.**

Las PCH en su funcionamiento propio y natural poseen ventajas que les son inherentes: a grandes rasgos éstas ayudan a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles, no producen emisiones de gases con efecto invernadero ni tampoco otras sustancias contaminantes en su funcionamiento. Sin embargo, también poseen ciertas desventajas que a la hora de planificar la estrategia energética nacional, deben ser tomadas en cuenta.

Tal como se mencionó anteriormente, no existen en el mundo energías inocuas al medio ambiente o que no provoquen afecciones a éste, sin embargo, las comparaciones entre las distintas formas de generar energía arrojan resultados ampliamente favorables a las ERNC en general y a las pequeñas hidroeléctricas en particular.

(Ver Anexo N° 5: Comparación del impacto ambiental de las diferentes formas de producir electricidad).

### 5.7.1 Ventajas:

Específicamente se pueden contar las siguientes:

- Fuente limpia y renovable de energía: no consume agua, sólo la utiliza. No emite gases de efecto invernadero y los impactos locales no son significativos. Además es un recurso inagotable, en tanto el ciclo del agua perdure y se conserve la cuenca.
- Disponibilidad del recurso: por las características climatológicas y topográficas, este recurso está disponible en buena parte del territorio nacional.

- Aprovechan al máximo todos los recursos hídricos disponibles, ya que los lugares de instalación son muy variados y la central es sencilla (comparativamente).
- Bajos costos de operación: no se requiere de combustibles y las necesidades de mantenimiento son relativamente bajas por lo que los gastos de operación también.
- Disponibilidad de energía: la generación de energía generalmente es continua y su disponibilidad es predecible.
- Funciona a la temperatura ambiente: no hay que emplear sistemas de refrigeración o calderas que consumen energía y muchos casos contaminan.
- Eficiencia: la tecnología tiene una alta eficiencia en la conversión de la energía potencial del agua a energía mecánica y eléctrica (entre 75% y 90%), mayor que la de otras tecnologías.
- Solidez: la tecnología es robusta y tiene una vida útil larga. Los sistemas pueden funcionar 50 años o más sin requerir mayores inversiones que para reemplazar componentes.
- Ocupan poco sitio, y gracias a su estructura compacta, son relativamente fáciles de transportar incluso en lugares con poca accesibilidad.
- No se altera el ecosistema de manera significativa, ya que se aprovechan los elementos existentes sin alterarlos.

- Usos productivos: la disponibilidad continua y firme de energía permite el desarrollo de actividades productivas y económicas, tales como aserraderos, lecherías, procesamiento de productos agrícolas. Estas actividades ayudan a aumentar la rentabilidad del proyecto y la calidad de vida de las comunidades aledañas.

(Comisión Nacional de Energía (2010), Programa medio ambiente de las Naciones Unidas (2002), Fondo Mundial del Medio Ambiente (2002), Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España (2006), Molina, 2004, Soria 2008, entre otros.

### 5.7.2 Desventajas

A continuación se describen las principales desventajas asociadas a esta tecnología:

- Alto costo inicial: la inversión requerida está muy concentrada en el desarrollo inicial del proyecto, como por ejemplo en la ejecución de estudios, construcción de la obra civil y la compra del equipo electromecánico.
- Disponibilidad local: la tecnología depende de las condiciones topográficas e hidrológicas, entonces no está disponible en cualquier sitio. Las posibilidades de transmisión de la energía a largas distancias son limitadas por los costos de ésta.
- Potencia máxima: ésta es limitada y definida por el recurso natural en un sitio. Limita las posibilidades de expansión a largo plazo para atender al crecimiento de la demanda.
- Variabilidad del caudal: los caudales de agua pueden variar considerablemente durante las diferentes temporadas, lo que tiene impacto en la generación de energía.



- Necesidad de estudios: los pequeños proyectos hidroeléctricos, en particular las pequeñas centrales, requieren de estudios técnicos elaborados para conocer el potencial disponible y la factibilidad técnica. Esto implica un costo y un plazo significativo en la puesta en marcha del proyecto.

Por último, cabe decir que todo proyecto de PCH en su etapa de construcción genera algún grado de emisión a la atmósfera. Estas emisiones provienen del tráfico de camiones, utilización de maquinarias pesada, tráfico de camionetas y vehículos menores destinados al transporte de materiales y personal (DIA, central Carilafquén – Malalcahuello, IX región, 2010).

(Comisión Nacional de Energía (2010), Programa medio ambiente de las Naciones Unidas (2002), Fondo Mundial del Medio Ambiente (2002), Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España (2006), Molina, 2004, Soria 2008, Declaración de impacto ambiental central Carilafquén – Malalcahuello, IX región (2010). Entre otros.

## **5.8 Derechos de agua:**

Para poder utilizar el agua en Chile se debe adquirir un derecho sobre ésta, la creación de éstos tuvo como objetivo llegar a una asignación óptima del recurso y su uso técnicamente eficiente ([www.revistaei.cl](http://www.revistaei.cl)).

Estos derechos se constituyeron con el código de aguas de 1981, donde se beneficia la gestión del recurso en base a criterios de mercado. La legislación y las condiciones político-económicas que favorecieron esta situación fueron instaladas por el propio Estado. ([www.revistaei.cl](http://www.revistaei.cl)).

El código de aguas vigente creó una nueva categoría de derechos: consuntivos y no consuntivos. La diferencia entre ambos tipos de derecho es de naturaleza principalmente legal y dice relación con la presencia o ausencia de un compromiso por parte del usuario de devolver un caudal al río.

Según los artículos 12, 13 y 14 del código de aguas (Publicado en el Diario Oficial de Chile de 29.10.81)

Se entiendo por:

- Art. 12. Los derechos de aprovechamiento son consuntivos o no consuntivos; de ejercicio permanente o eventual; continuo, discontinuo o alternado entre varias personas.
- Art. 13. Derecho de aprovechamiento consuntivo es aquel que faculta a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad.
- Art. 14. Derecho de aprovechamiento no consuntivo es aquel que permite emplear el agua sin consumirla y obliga a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del derecho.

La extracción o restitución de las aguas se hará siempre en forma que no perjudique los derechos de terceros constituidos sobre las mismas aguas, en

cuanto a su cantidad, calidad, substancia, oportunidad de uso y demás particularidades.

Los derechos Consuntivos se utilizan para usos como riego, minería, industria y uso doméstico. Sin embargo, siempre una fracción no menor de los usos consuntivos retorna al cauce, ya sea en forma localizada o difusa, lo que conlleva problemas de contaminación ([www.revistaei.cl](http://www.revistaei.cl)).

Los derechos No Consuntivos, se refieren a aquellos que se solicitan para utilizar el agua sin consumirla, como es el caso de los proyectos hidroeléctricos. Estos derechos conminan a devolver las aguas a los ríos, sin perjudicar a los usuarios existentes aguas abajo ([www.revistaei.cl](http://www.revistaei.cl)).

Sin embargo, en el caso de las grandes hidroeléctricas que represan gigantescas cantidades de agua, la normativa es débil, ya que provocan perjuicios a los usuarios de las partes bajas de las cuencas. Por ejemplo, secan los ríos por tiempos prolongados con graves consecuencias medioambientales y pérdidas irreversibles de ecosistemas muchas veces únicos.

## **5.9 Caudales ecológicos:**

Se entiende, como el caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica y la actividad biológica del cauce natural (Gho, 2009).

Para estimar este caudal ecológico mínimo, la DGA históricamente ha considerado un determinado porcentaje del caudal del río, establecido en forma constante, utilizando para ello algunos de los criterios siguientes (DGA, 2008):

- Caudal igual o superior al 10 % del caudal medio anual (DGA, 2008).
- Caudal igual o superior al 50 % del caudal mínimo de estiaje del año con 95% de PEX (ver Gráfico N° 3), (DGA, 2008).

La estadística hidrológica que se requiere para la aplicación de estos métodos de base hidrológica, en forma óptima, debe considerar un mínimo de 25 años hidrológicos, con una estadística a nivel medio mensual, además de utilizar metodologías que estén comúnmente aceptadas (DGA, 2008).

Por otro lado, la sustentabilidad e integridad de un ecosistema acuático no se asegura con el mantenimiento de un caudal mínimo constante a través de todo el año, ya que los requerimientos para la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente está dada principalmente por el régimen natural de caudales (DGA, 2008).

Es por ello, que al momento de definir el caudal ecológico mínimo se buscará considerar las variaciones en los caudales de flujo del cauce, a lo menos dentro de un período anual (estacionalidad), estableciendo un caudal variable que permita mantener en forma proporcional al cauce sin intervención, las variaciones de caudal estacional (DGA, 2008).

Cabe destacar, que el cálculo del caudal mínimo ecológico para el río blanco, escapa de las posibilidades y límites del presente estudio, puesto que el área de estudio en específico cuenta sólo con información hidrológica oficial en la parte baja del cauce, los datos de las partes altas, fueron aforados en terreno para el desarrollo de la investigación, por lo que no se cuenta con la información adecuada para la estimación de éste.

### 5.10 Nueva ley de Energías Renovables en Chile:

Hasta Junio del 2007 el aporte de las ERNC a la matriz eléctrica nacional era marginal (menos del 3 %) evidenciando que los incentivos otorgados por la ley corta I<sup>18</sup> y ley corta II publicadas en Marzo del 2004 y en Mayo del 2005 respectivamente, habían sido insuficientes para dar el auge necesario al desarrollo e implementación de estas energías. Cabe destacar que *“estas dos leyes incluyeron modificaciones que favorecen a las Energías Renovables no Convencionales”* (Corral, 2010), pero claramente apuntaban a un potenciamiento de éstas en la competencia del mercado eléctrico nacional.

La nueva ley de fomento a las Energías Renovables No Convencionales aprobada en Chile, exige que a partir del año 2010 las empresas generadoras de nuestro país con capacidad instalada superior a 200 MW, deberán acreditar que una cantidad de energía equivalente al 10% de sus retiros en cada año haya sido inyectada por medios de generación renovable no convencional, pudiendo ser estos medios propios o contratados (Saldías y Ulloa. 2008).

Esta obligación será aplicada de manera gradual partiendo con un 5% entre los años 2010 a 2014, y aumentando anualmente un 0,5% a partir del año 2015, para alcanzar así el 10% previsto para el 2024 (CNE, 2010).

La ley permite que una empresa eléctrica traspase sus excedentes a otra empresa eléctrica, pudiendo realizarse incluso entre empresas de diferentes sistemas eléctricos (Saldías y Ulloa. 2008).

---

<sup>18</sup> La Ley Corta I libera de los costos de transmisión a los generadores con capacidad menor a 9MW (o sea, los pequeños no pagan peaje por transporte). A medida que los generadores tienen mayor capacidad, tienen que pagar un poco más por el transporte. Desde los 20 MW hacia arriba deben pagar las tarifas completas.

La obligación de esta ley entró en vigencia a partir del 1 de enero de 2010, se extenderá por 25 años y será aplicable a los contratos de energía firmados a partir del 31 de agosto de 2007.

A Junio del 2010, las metas propuestas por la nueva ley de ERNC han sido ampliamente superadas según lo indicado por José Ignacio Escobar, vicepresidente de la Asociación Chilena de Energía Renovable a.g. (ACERA), donde explica que la obligación que dispone la ley para que los generadores obtengan de fuentes renovables el 5% de la electricidad que inyectan al sistema, en la práctica sólo es efectiva para el 20% de la energía que circula por el Sistema Interconectado Central (SIC), que entre Taltal y Chiloé abastece al 94% de la población.

Al calcular en base a este 20%, la meta fijada se superó a marzo, con un 8% de la electricidad generada a partir de ERNC. Al haber cumplido con la meta, ya no habría incentivos para invertir en estas fuentes.

Sin embargo, Escobar precisa que al considerar el 100% de toda la energía, en el primer trimestre las fuentes renovables sólo representaron el 1,6% de la generación del SIC.

La diferencia, se explica por la ley de ERNC establece el requerimiento sólo para la energía contratada por las generadoras después del 1 de enero de 2007, lo que dejó fuera a gran parte de la energía que las distribuidoras adjudicaron en la primera licitación en 2006.

### **5.11 Apoyo e incentivos para la introducción de ERNC a los mercados energéticos.**

Existen básicamente dos modelos de incentivos a la introducción de ERNC a los mercados energéticos nacionales, el primero es el utilizado en el caso alemán y español denominado “*Feed-in tariff*”, el cual consiste en la fijación por parte de la autoridad de un precio mínimo de la energía producida por centrales renovables no convencionales, además de la obligatoriedad que se les impone a las distribuidoras de comprar toda la energía producida por éstas y la de conectar a todo proyecto de ERNC a la red.

El segundo, utilizado por Australia, Inglaterra y recientemente en Chile conocido como “*Quota System*”, pasa por obligar a las generadoras a que cierto porcentaje de la energía inyectada al sistema eléctrico provenga de fuentes de ERNC, traspasando la responsabilidad de la inserción de las ERNC completamente al mundo privado, donde el Estado actúa solo como medio fiscalizador del cumplimiento de la normativa (ecodesarrollo, 2010).

Este último modelo adoptado por Chile en su nueva Ley de ERNC, posee detractores que sostienen que no es la forma correcta de incentivar la inserción de nuevos, variados y ojala múltiples proyectos, ya que al ser responsabilidad de los privados la compra de la energía renovable no convencional que inyectan al sistema, es muy probable que éstos empiecen a producir su propia ERNC, lo cual evidentemente ayuda y conlleva los beneficios inherentes a éstas, pero sin lugar a dudas coarta las posibilidades de cientos de pequeñas iniciativas de ERNC propuestas por privados de menor envergadura.

Además, a las grandes generadoras no les conviene más actores dentro de su negocio, por lo que es muy probable que suceda lo anterior. Por otro lado, las ERNC al no tener un precio mínimo garantizado ni tampoco la venta total de la energía producida, se torna complicada la inserción de nuevos inversionistas y proyectos al sistema.



Así también lo demuestran las palabras del presidente de APEMEC, Don Pedro Matthei argumentando que *“Es vital contar con una Ley ERNC que se traduzca en un precio de mercado por el atributo verde, de modo que sirva para viabilizar la mayoría de los proyectos”*

Otro incentivo importante son los Medios de Desarrollo Limpio (MDL) a los cuales cualquier proyecto de ERNC en el país puede optar, ya que Chile ratificó el Protocolo de Kyoto en agosto de 2002.

A grande rasgos el Protocolo de Kyoto obliga a los países desarrollados a reducir en un 5% las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI). Los países en vías de desarrollo como Chile que aportan en menor grado, no tienen obligaciones de reducción de emisiones, sino más bien tienen la posibilidad de obtener aportes financieros a proyectos, postulando a los Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que fueron establecidos por el Protocolo.

La función de la *Designated National Authority (DNA)*, es la de certificar y aprobar los proyectos que postulan al MDL. Se encuentra a cargo del Ministerio de Medio Ambiente, que lidera un comité ejecutivo al cual pertenecen también representantes de los Ministerios de Agricultura y Relaciones Exteriores así como de la CNE. Hasta julio de 2007 se habían registrado 16 proyectos chilenos de energías renovables, principalmente proyectos hidroeléctricos y de biomasa (CNE, 2010).

Las características que deben tener los proyectos que pueden postular a los MDL son las siguientes:

- El proyecto debe contribuir al desarrollo sustentable del país.
- El proyecto debe contar con la aprobación de la Autoridad Nacional designada.
- El proyecto debe contribuir a reducir los GEI<sup>19</sup>.
- Las reducciones de GEI deben ser reales, medibles y de largo plazo.

---

<sup>19</sup> Gases de Efecto Invernadero

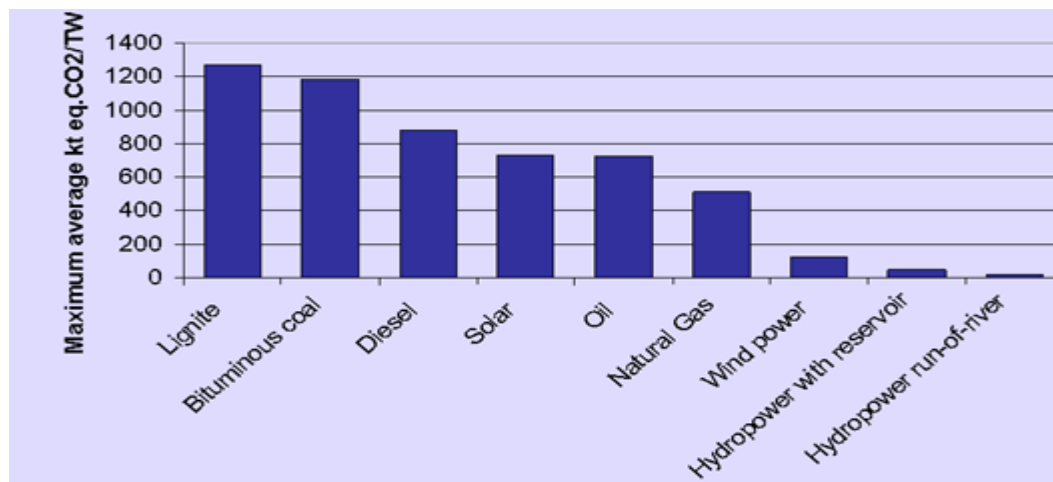
### 5.11 ¿Por qué la Energía Mini - Hidro por sobre las otras ERNC?

Las PCH tienen ciertas ventajas innegables respecto a otras tecnologías de energías limpias, ya que es una forma conocida, segura y confiable de producción eléctrica, además de presentar bajos costos de mantención.

Pero existen dos elementos que sin lugar a dudas son los más relevantes a la hora de concebir una PCH.

Primero, la tecnología tal como se presenta en el cuadro “Comparación del impacto ambiental de las diferentes formas de producir electricidad” (Anexo N° 5), debe ser ambientalmente amigable y como se puede apreciar en el siguiente gráfico, la energía de centrales de pasada es, por mucho, la menos contaminante que existe en la actualidad, no tan solo de las energías convencionales (Carbón, Petróleo, Diesel), sino también de las convencionales renovables (gran Hidráulica) y de las Energías Renovables No Convencionales (Eólica y Solar), esto se explica por la huella de carbono que producen los insumos tecnológicos necesarios para la generación de la energía.

Grafico N° 5: Emisiones de gases invernadero según la tecnología con la cual se produce la energía.



Fuente: International Energy Agency (IEA). “Implementing agreement for hydropower technologies and programmes” Anexo III: Hydropower and the environment: Present context and guidelines for future action. Subtask 5. Report Volume II. May 2000.

Segundo, se debe sopesar económicamente la tecnología que se quiere implementar, siendo esto un aspecto fundamental en cualquier tipo actividad o proyecto.

En este sentido y de forma comparativa, vemos en el siguiente cuadro como la energía hidráulica a pequeña y mediana escala<sup>20</sup> es la más rentable de las Energías Renovables No Convencionales, dando énfasis a que solo la energía Geotérmica<sup>21</sup> y, en menor grado, la Biomasa podrían llegar a ser competitivas con la mini-hidro, dejando a la energía eólica, mareomotriz y solar costos ostensiblemente más altos por MW generado.

**Figura N° 11: Costos según tecnología por MW generado.**

Tecnología	Costo Inversión US\$ / MW	Factor de Planta	Costo Variable US\$ / MWh	Costo Medio US\$ / MWh
Hidroeléctrica < 40 MW	1,9	0,6	2	44,5
Eólica	2,2	0,3	2	100,3
Geotermia	3,5	0,9	5	57,1
Solar	6	0,25	2	323,8
Biomasa	2	0,85	45	76,5
Mareomotriz (olas)	5	0,4	62	229,6

Fuente: Saldías y Ulloa 2008

<sup>20</sup> No fue posible encontrar la información para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (20 MW como lo establece la legislación chilena).

<sup>21</sup> Ninguna central geotérmica se encuentra actualmente produciendo energía para los sistemas eléctricos del país, en contra posición se encuentra la biomasa, que aporta poco menos del 50 % de toda la generación eléctrica en base a ERNC. (CORMA, Noviembre del 2010).

### **5.13 Barreras de entrada o problema de conexión al sistema.**

Dentro de la normativa legal y las reglas de mercado en la cual se desenvuelven las PCH, se distinguen claras barreras de entrada y fuertes limitantes a los nuevos proyectos mini – hidro, que muchas veces hacen inviable o poco atractiva la instalación de este tipo de centrales, sobre todo, a pequeños propietarios.

Para Alberto Cardemil miembro de Carey S.A, grupo dedicado a los recursos naturales y el medio ambiente, en su ponencia en Expo Apemec 2010, existen múltiples barreras de entradas, partiendo en la Dirección General de Aguas:

- El permiso de aprobación de obras hidráulicas, por si solo ya es muy engorroso
- La tramitación de los proyectos demora entre 1.5 y 3.5 años, Excesivamente largo.
- Inexistencia de personal adecuado para la revisión de proyectos o solicitudes en la DGA.
- Cambio de carácter brusco en la propia DGA, muchas veces debido al cambio de director, esto provoca desconfianza en los inversionistas.
- Inflexibilidad absoluta en las solicitudes de proyectos.

Todas estas ya son importantes barreras de entradas a las PCH, sin embargo, no son las únicas y se le deben sumar las siguientes:

- Para muchos actores nuevos que desarrollan pequeñas centrales hidroeléctricas es difícil pagar la patente (de derechos de agua), debido a que no cuentan con centrales en operación (Matthei, 2010).
- La conexión a las redes de transmisión generalmente es costosa, producto que la generación de PCH es una generación en “isla”, además no existe la obligación de interconectar a estos pequeños productores (como en

otros países que esta normado por ley) dejando a estos en situación de desamparo (Laeger, 2010 en Expo Apemec).

- El financiamiento bancario es dado después de que este pequeño generador posee el contrato para vender su energía.
- La comercialización de los bonos de carbono, aunque auspiciada por CORFO y el Ministerio de Medio Ambiente, aún es incipiente. *“urgencia en Chile por que los bonos verdes (carbono) sean transables y bancables”* (Raineri, 2010 en Expo Apemec)
- Imprescindible es contar con una Ley ERNC que traduzca a un precio de mercado el atributo verde, de modo que sirva para viabilizar la mayoría de los proyectos (Matthei, 2010)
- La ley no hace distinciones entre derechos de agua para pequeñas hidroeléctricas y grandes centrales hidroeléctricas, sin embargo, el proceso de solicitud y tramitación de los derechos de aprovechamiento para una central pequeña son similares a los de grandes obras, claramente complejos para PCH”.

Aun así, con todas las deficiencias e imperfecciones, es posible encontrar en la actualidad más de 240 proyectos en diversas etapas de desarrollo.

Por lo tanto, en un país con las características y potenciales hidráulicos que posee Chile, no es descabellado pensar en una legislación, normativa e institucionalidad ajustada a la realidad mini hidro nacional, donde se agilice en grado importante la aprobación de permisos, se establezca la obligatoriedad de comprar toda la energía verde producida y se avance de forma significativa en cuanto a la tarifa de la energía y la venta de bonos verdes.

## **5.14 Criterios de localización para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas**

Los criterios a continuación detallados fueron definidos en el presente trabajo por su injerencia e importancia a la hora de localizar Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Cursos Naturales (PCH-CN), a través de una extensa revisión bibliográfica y en base a entrevistas semi-estructuradas con expertos en temas relacionados a PCH.

### 5.14.1 Caudal:

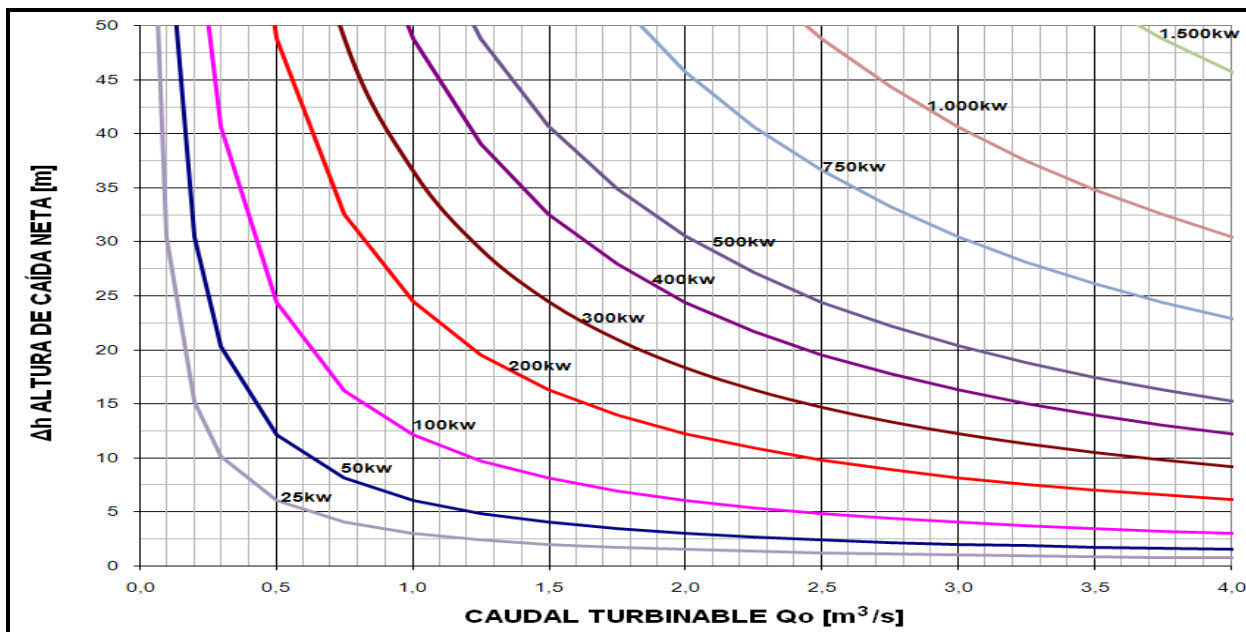
El caudal se define como la cantidad de agua en movimiento de la corriente hídrica, medida en galones por minuto (gal/min), litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s) (SAG Honduras et al, 2009).

El caudal, para el presente estudio, se entiende como uno de los criterios básicos y esenciales para la localización de PCH-CN.

*“Las PCH utilizan parte del caudal de un río para generar energía eléctrica, operando de forma continua ya que no poseen la capacidad para almacenar agua y no disponen de embalse”* (SAG Honduras et al, 2009).

La potencia bruta de una PCH, se define como caudal por altura de caída (más adelante se muestra en específico esta ecuación). En el siguiente gráfico podemos ver la cantidad aproximada de energía que se puede llegar a producir, según la cantidad de caudal y altura de caída con la cual se disponga.

Figura N° 12: Potencia bruta teórica, según altura de caída y caudal turbinable.



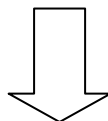
Fuente: “Generación Hidroeléctrica en pequeñas centrales asociadas a obras de riego. Resumen de estudios sobre ERNC en periodo 2007-2009”. INFORME EJECUTIVO, mayo – 2010, elaborado por PROCIVIL ING LTDA.

#### 5.14.2 Pendiente/desnivel o salto de agua:

La pendiente junto con la cantidad bruta de caudal utilizable definen en gran medida la potencia que se puede obtener en un lugar determinado. Esta pendiente es la diferencia de elevación entre la boca toma aguas arriba y el rodete de la turbina en la casa de máquinas (SAG Honduras et al, 2009); otros definen a esta diferencia de altura como la que se da entre el punto de captación y de restitución (Universidad de Concepción-EULA Chile, 2009), lo cual, en definitiva determina la carga hidráulica de la central. A mayor altura, mayor potencial de generación hidroeléctrica.

La siguiente ecuación demuestra la relación entre caudal y pendiente para estimar el potencial bruto teórico de un cauce natural<sup>22</sup>.

$$\text{POTENCIA} = \text{CAUDAL} * \text{ALTURA}$$



$$P \text{ [kW]} = Q \text{ [m}^3\text{/s]} * H_n \text{ [m]} \quad \text{Por lo tanto} \quad \Rightarrow \text{POTENCIA} * \text{TIEMPO} = \text{ENERGÍA}$$

Donde: P = Potencia en Kilo watts/hora.

Q = Caudal en metros cúbicos por segundo

H<sub>n</sub> = Altura en metros.

Fuente: “Micro, Mini y Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.” Javier Gho y Carlos Bonifetti 2009.

<sup>22</sup> El potencial bruto teórico (PBT) de un cauce representa la energía potencial que disipa el cauce, y puede considerarse un índice de la máxima energía hidroeléctrica generable en condiciones teóricas ideales. Por lo tanto, corresponde a un límite físicamente inalcanzable, cuyo objetivo es entregar un orden de magnitud sobre las posibilidades hidroeléctricas de una cuenca (Balairón, 2002).



#### 5.14.3 Tipo de suelo:

El tipo de suelo no presenta grandes inconvenientes a la hora de localizar PCH-CN, puesto que las obras hidráulicas necesarias para la construcción de éstas pueden ser realizadas en cualquier suelo, así lo manifiesta el Ingeniero Alexis Chacón *"se puede construir en cualquier lugar, incluso en la arena, todo tiene su tecnología. El suelo no es un impedimento para construir...."*, salvo, en sectores proclives a movimientos en masa o erosión de taludes.

En vista de lo anterior y en consideración a la baja complejidad que poseen las obras civiles de una pequeña central hidroeléctrica, se puede afirmar que no es necesario un estudio de mecánica de suelo para su construcción, sino más bien, se considera factor de discriminación la utilización de suelos con baja capacidad de uso, teniendo en cuenta la escasez de suelos de altas capacidades de uso.

#### 5.14.4 Uso de suelo:

Dentro de los diversos usos de suelo que existen en el área de estudio se identifican actividades que pueden entrar en conflicto con la localización de PCH, tales como procesos productivos, complejos turísticos y recreativos, crianza de animales etc., debido a esto se categorizará los usos encontrados en el área de estudio según el grado de viabilidad de un lugar frente a otro con respecto a la localización.

Si se considera que algún lugar posee un uso de suelo extremadamente incompatible con la localización de PCH, se tratará a éste como una limitante con su respectiva área de influencia.

#### 5.14.5 Distancia a la red eléctrica:

La distancia a la red eléctrica es un elemento fundamental a la hora de identificar áreas con potencial hidroeléctrico. Esta distancia puede tornar un proyecto hidroeléctrico inviable, ya que es más caro transportar la energía producida que la venta de ésta (Ubilla, 2010).

Según el Ingeniero geográfico Juan Carlos Espinoza, *“a menor distancia entre el punto de localización de la central y la red eléctrica, se posee un mayor potencial de localización...”*.

En entrevista con el experto en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, ingeniero civil químico de la Universidad de Santiago y consultor de BGM Hydroconsultores, Javier Gho, señala que *“la distancia a la red eléctrica es uno de los factores más importantes a la hora de localizar una PCH-CN, además, del caudal y la pendiente”*. Según su experiencia *“las PCH-CN aguantan una cierta distancia a la red, según principalmente la cantidad de energía que se pueda producir en dicha central, sin embargo y a juicio personal, para una pequeña central hidroeléctrica de un par de MW unos cuantos Km de distancia ya es demasiado...”*.

Tal como se mencionó anteriormente, se trabajó pensando en centrales con una capacidad instalada de 5 MW, debido a que el río Blanco, en base a la información rescatada en terreno y a un análisis preliminar de la situación, difícilmente podría acoger PCH con una potencia superior a la recién mencionada.

#### 5.14.6 Distancia a vías de acceso:

Las vías de acceso son un factor importante en la etapa de construcción de una PCH; si no es posible llegar con los insumos, generadores y maquinaria al lugar escogido, o si es necesario construir caminos para alcanzar el sitio deseado, económicamente puede tornar inviable el proyecto (McPhee, 2010), al igual que la distancia a la red eléctrica, las PCH-CN tendrán una resistencia sobre la distancia a vías de acceso, relacionada con la cantidad de energía que produzca dicha central.

Pasada la etapa de construcción la importancia de los caminos baja considerablemente, ya que su uso se limita básicamente a la mantención de la central.

Según el Ingeniero geográfico Juan Carlos Espinoza, “*a menor distancia entre el punto de localización de la central y un acceso, se posee un mayor potencial de localización...*”;

#### 5.14.7 Limitantes:

En el presente estudio, se definen zonas donde no podrán ser instaladas las PCH, ya sea por la importancia biótica, abiótica, social o cultural que puedan presentar dichos territorios, por ejemplo el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE<sup>23</sup>), y zonas donde se podrán instalar las PCH pero a una distancia predeterminada, para no provocar intervenciones nocivas en territorios con usos especiales, como sectores donde se identifiquen usos sociales tradicionales por parte de los lugareños, comunidades indígenas o usos ancestrales indígenas.

También se definen áreas de influencia de factores de riesgo donde no es seguro localizar las PCH, tales como fallas geológicas, remoción en masa, topografía inaccesible y riegos de inundación.

---

<sup>23</sup> CONAF administra el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), que corresponde a aquellos ambientes naturales, terrestres o acuáticos que el Estado protege y maneja para lograr su conservación. El sistema está formado por 3 categorías de manejo: Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales ([www.conaf.cl](http://www.conaf.cl)).

## VI. Metodología:

Con el fin de determinar las zonas con mayores aptitudes para la generación de energía eléctrica en base a Pequeñas Centrales Hidroeléctricas del río Blanco, en el tramo Junta río Blanco-estero Caracoles- Junta río Blanco-río Negro, se utilizó la metodología de análisis multicriterio elaborada por José Ignacio Barredo (1996) referida en su libro “*Sistemas de información Geográfica y evaluación multicriterio*<sup>24</sup> en la ordenación del territorio”. El trabajo metodológico se dividió en 2 etapas fundamentales.

### 6.1 Etapa N° 1:

Definición de criterios con sus respectivos parámetros y limitantes para la localización de PCH en el río Blanco, tramo comprendido desde la junta río Blanco-estero Caracoles, hasta junta río Blanco-río Negro, lo cual se realizó a través de dos fuentes principales de información:

1. Búsqueda bibliográfica, indagando todos los factores geográficos que influyen a la hora de localizar una PCH-CN<sup>25</sup>.
2. Entrevistas semi-estructuradas a peritos, utilizando la información obtenida como guía y monitoreo del trabajo desarrollado.

---

<sup>24</sup> La evaluación multicriterio puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones (Barredo, 1996). Según Voogd (1983) el fin básico de las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto.

<sup>25</sup> Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Cauces Naturales.

**Diagrama N° 1: Definición de Criterios de localización**



Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos los criterios y parámetros de localización, se realizó una segunda consulta a expertos, a través de entrevistas estructuradas para indagar la importancia, valor y juicios personales de éstos sobre los criterios planteados en el paso anterior (ponderación de criterios o asignación de pesos), con el fin de validar y sopesar la información recopilada a la realidad del caso y del país (ver Anexo N° 6).

La asignación de pesos a los criterios, en base a los juicios y experiencias de expertos<sup>26</sup>, proporciona a la investigación un mayor manejo (importancias y pesos diferenciales entre criterios) y dota al estudio de una buena manipulabilidad a la hora de definir zonas óptimas de emplazamiento de PCH-CN.

Posteriormente, se procesó la información obtenida de las entrevistas estructuradas con los expertos mediante el software “*Expert Choice*” -el que presenta un índice de inconsistencia entre las respuestas que no puede ser superior a 0.09- certificando la congruencia entre las respuestas de los expertos. Esta información, pasó a ser el insumo básico de la espacialización en base a los diferentes pesos específicos otorgados a cada uno de los criterios definidos.

<sup>26</sup> Los expertos consultados, corresponden a diversas áreas relacionadas al estudio tales como: Expertos en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y Análisis Multicriterio (AMC). Asimismo, se consultó a profesionales relacionados al tema (Geógrafos, Geólogos, Ingenieros Geográficos, Ingenieros eléctricos.)

En la primera etapa, se realizó un terreno de carácter exploratorio, donde se visitó el área de estudio y se identificaron sus características principales. Además, se realizaron mediciones (*in situ*) aportando datos de carácter primario a la investigación, los que sirvieron para enriquecer la data oficial obtenida en la Dirección General de Aguas (DGA) desde un punto de vista empírico, ya que se consiguieron datos de la parte media y alta del río Blanco, donde no existen estaciones de aforo<sup>27</sup> (Universidad de Chile et al, 2008).

#### 6.1.1 Asignación de Pesos – Importancia de criterios de localización:

En la literatura revisada no fue posible encontrar un método de valoración común aprobado y tal como dice Voogd (1983) “*Para la asignación de pesos a los criterios, existen varios métodos de los cuales ninguno parece ser universalmente aceptado*”.

El método escogido en el presente trabajo para la asignación de pesos a los criterios y su posterior manipulación, es el utilizado por el software “Expert Choise”, ocupado con frecuencia en AHP “*Procesos Analítico Jerárquico*” (Ávila, 2000) y EMC “*Evaluaciones Multicriterio*” (Hormazabal, 2006), el cual posee una escala de medidas llamada Saaty<sup>28</sup>.

Cabe mencionar que el desarrollo de este software ha sido supervisado por el propio Saaty (Ávila, 2000).

---

<sup>27</sup> Aunque el país cuenta con un gran potencial de energías hidroeléctricas, geotérmicas, eólicas, biomasa y solar no explotadas, éstas se encuentran mal identificadas y no existen estudios exhaustivos que cuantifiquen el potencial disponible, lo que dificulta la formulación y desarrollo de proyectos ERNC sobre bases sólidas.

<sup>28</sup> Thomas Saaty, Autor del libro “Toma de decisiones en escenarios complejos” y uno de los creadores de los Procesos de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, (AHP)).

**Tabla N° 2: Escala de medidas de Saaty.**

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Fuente: Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME (Martínez, 2007).

Como resultando de la aplicación se obtiene una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada *Matriz de comparaciones pareadas*, de forma que cada uno de sus componentes reflejen la intensidad de preferencia de un elemento frente a otro respecto del atributo considerado (Martínez, 2007).

(ver Anexo N° 6).



## 6.2 Etapa N° 2:

Posteriormente se procedió a espacializar<sup>29</sup> los criterios anteriormente definidos, con sus respectivos pesos específicos, parámetros y limitantes, considerados para la localización de PCH-CN, con el fin de establecer zonas óptimas de emplazamiento y categorizar el área de estudio según las potencialidades de cada lugar en específico.

Cada criterio espacializado, se categoriza según los parámetros de aptitud que posea para la acogida de PCH, definidos en base a revisión bibliográfica y consulta a expertos. Estos parámetros se categorizaran siempre de forma ascendente<sup>30</sup>, es decir:

**Tabla N° 3: Categorización parámetros de aptitud.**

Parámetro de aptitud	Categorización
"Excelente"	1
"Muy Apto"	2
"Apto"	3
"Poco Apto"	4
"No Apto"	5

Fuente: Elaboración propia, 2010.

La asignación de pesos a los criterios escogida para realizar el modelo de áreas aptas para la localización de PCH, fue la realizada por James McPhee, debido a la alta consistencia entre sus respuestas y al apego que presentaron éstas con la realidad del país; esto último fue un aspecto relevante, ya que se obtuvieron asignaciones de pesos a los criterios con excelentes índices de congruencia, pero no necesariamente reflejaban la situación y/o realidad nacional.

<sup>29</sup> La espacialización es el proceso por el cual se plasman en forma gráfica los criterios en una cartografía.

<sup>30</sup> Para todos los criterios se definieron 5 categorías o parámetros de aptitud, exceptuando tipo y uso de suelo donde se consideraron 6 y 7 categorías, respectivamente, debido a las características propias de cada uno de estos criterios, donde fue imposible categorizar en 5.

Cabe mencionar que posteriormente las respuestas de McPhee, en su manipulación, análisis y estudio, fueron modificadas parcialmente en función de la experiencia adquirida por el autor durante la investigación.

La evaluación multicriterio es un proceso mediante el cual varios mapas o capas de información se combinan o evalúan para originar un mapa que muestre la aptitud del territorio para un propósito en particular (Eastman, 2003).

Finalmente, la carta síntesis de aptitud se confeccionó a partir de la integración de los criterios mediante el procedimiento de la suma lineal ponderada, también conocido como análisis multicriterio, descrito en la siguiente ecuación:

$$S = \sum W_i X_i$$

Donde;

S: Adecuación (Sumatoria final de parámetros y pesos de cada criterio)

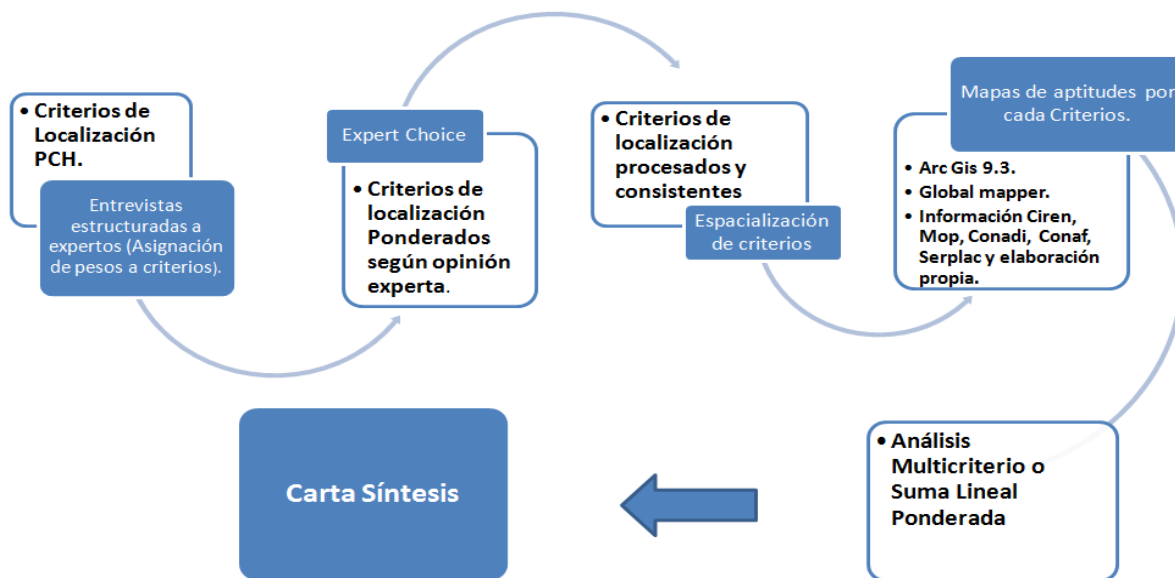
$W_i$ : Valor aptitud (parámetro) del Criterio.

$X_i$ : Peso del criterio.

Fuente. EASTMAN (2003), en Padilla (2008)

Este procedimiento multiplica cada mapa categorizado según las aptitudes de los criterios (cada celda raster dentro de cada mapa) por el peso dado por los expertos al criterio y luego suma los resultados, utilizando para ello, el módulo “*Raster Calculator*”, del software Arc-Gis.

Diagrama N° 2: Diagrama Metodología utilizada paso a paso.



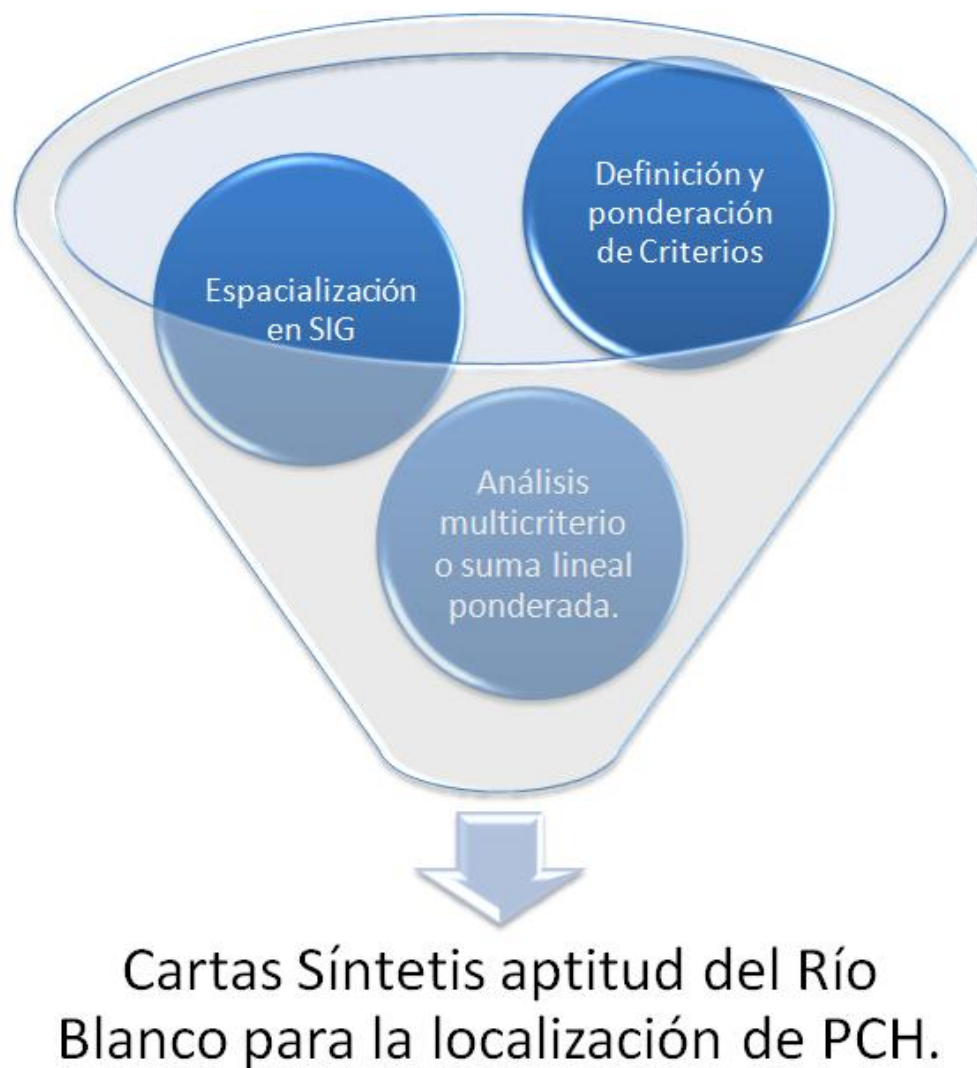
Fuente: Elaboración propia, 2010.

En resumen, la metodología se dividió en 3 procesos fundamentales:

- Definición y ponderación de criterios de localización PCH.
- Espacialización: Cartografía de cada uno de los criterios con su respectiva categorización según parámetros de aptitud.
- Análisis multicriterio o suma lineal ponderada: Carta síntesis.

El siguiente diagrama ilustra el proceso metodológico general utilizado para definir el potencial de localización (PCH) que presenta el río Blanco, en su tramo analizado.

**Diagrama N° 3: Procesos fundamentales de la Metodología.**



Fuente: Elaboración Propia, 2010.

### 6.3 Pasos y métodos:

#### 6.3.1 Medición y cálculo de Caudal:

Para la determinación del Caudal se utilizó el método de la *botella* expuesto en el documento micro centrales hidroeléctricas de Muguera.

El método de la *botella* consiste en calcular el tiempo que tarda una porción de arroyo en recorrer una sección de control de 10 metros de largo.

Se determina una sección de control en un lugar preferentemente poco sinuoso, se mide su ancho (L) en metros, de orilla a orilla.

Luego se divide L en diez partes iguales a lo largo del río y en cada una de las partes se realiza una medición de la profundidad de aquella sección. La profundidad media del arroyo en la sección de control será:

$$X_m = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10}) / 10$$

Diez metros aguas arriba de la sección de control se fija un segundo hito de control. Luego se prepara una botella bien tapada de tamaño medio y se deja flotar tanto en el centro como en los costados del río, desde varios metros aguas arriba del segundo hito de control. Posterior se controla el tiempo T en segundos que tarda la botella en recorrer los 10 metros que separan ambos hitos. Se repiten las medidas la mayor cantidad de veces posibles y se utiliza el promedio de las mediciones.

El área A en metros cuadrados de la sección de control será:

$$A = X_m (\text{Profundidad media en metros}) \times L (\text{Ancho en metros})$$

En el tiempo (T) habrá pasado por la sección de control un volumen de agua igual a:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = 10 \times A$$

El caudal que circula en la sección de control, al momento de la medición será:

$$Q \text{ (Lt/Seg)} = V \text{ (m}^3\text{)} \times 1000 \text{ (Lt/m}^3\text{)} / T \text{ (Seg)}.$$

Los caudales utilizados para desarrollar el modelo de zonas aptas para la localización de PCH en el área de estudio, fueron estimados en base a los aforos realizados en terreno; en la parte baja del río (aguas arriba de la junta río Blanco- río Negro), media (aguas arriba de la intersección del río Blanco con la ruta internacional Pino Hachado) y alta del cauce (aguas abajo de la junta río Blanco-estero Caracoles).

Dichos aforos se realizaron a comienzos de la época de lluvias (fines de abril), recordando que según la información rescatada en la salida de campo, las lluvias aún no comenzaban en el momento que se realizaron las mediciones.

Cabe señalar que en años húmedos los mayores caudales se presentan entre mayo y agosto, producto de lluvias invernales, mientras que los menores lo hacen entre enero y abril (DGA, 2004). En años secos los caudales se observan bastante uniformes a lo largo del año, con leves aumentos entre junio y septiembre y disminuciones entre enero y mayo (DGA, 2004).

El modelo contó con cinco categorías de caudal, tanto por razones prácticas ya que solo fue posible realizar tres mediciones en terreno, como técnicas, ya que se considero adecuado y representativo categorizar en cinco cada uno de los criterios.

Se realizaron tres aforos en terreno (parte baja, media y alta) correspondientes a tres categorías de caudal, las dos restantes categorías se interpolaron según las anteriores mediciones (entre parte baja y media primera interpolación y entre parte media y alta segunda interpolación). Ver Figura N° 13.

Los resultados obtenidos resultan congruentes respecto a la información oficial facilitada por la Dirección General de Aguas; dicha información se presenta en los Anexos N° 1 y 8 del trabajo.

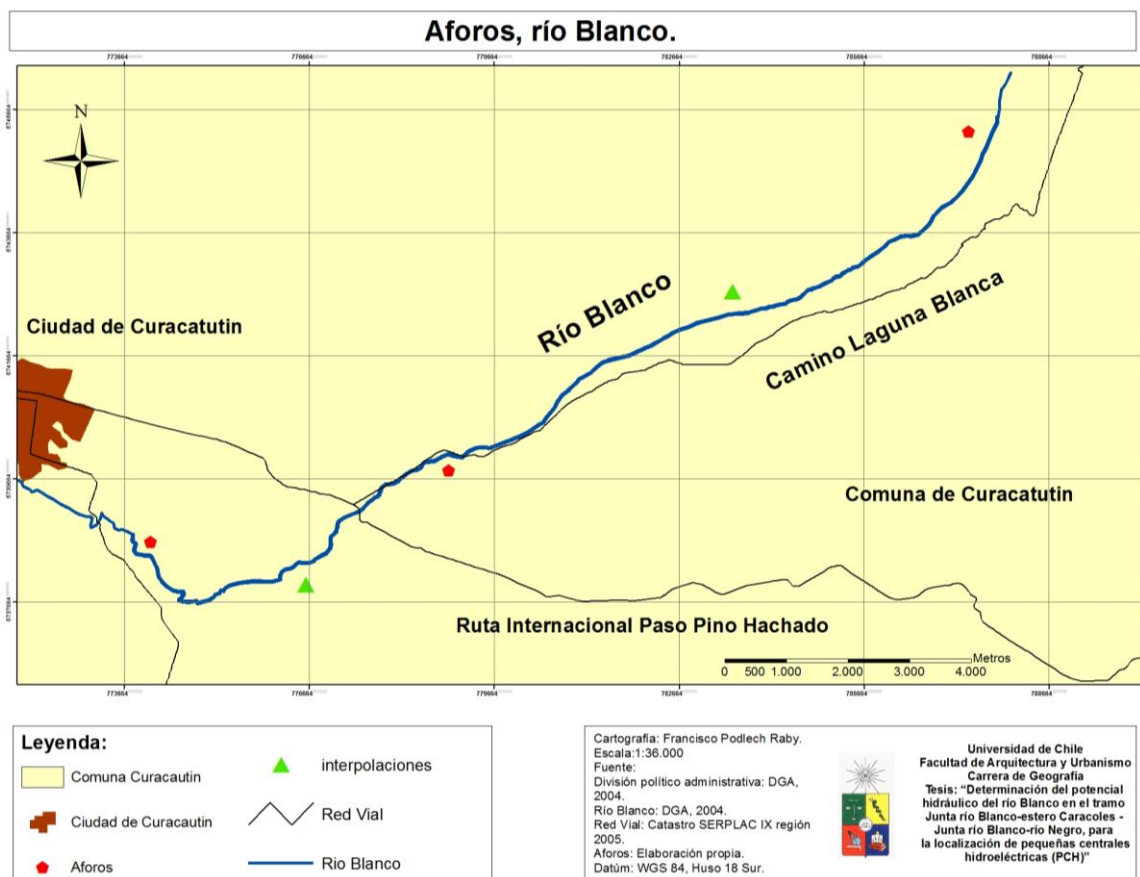
Importante es mencionar que los caudales obtenidos en los aforos antes mencionados no resultaron ser crecientes a medida que el río avanzaba, tal como lo indica la lógica y los modelos matemáticos, ya que en la parte baja del río, los caudales resultaron ser menores que los arrojados en la parte media. Lo anterior, se explica producto de las múltiples extracciones de agua, principalmente para riego<sup>31</sup>, que presenta el río en ese trayecto.

Finalmente, se consideraron los mayores caudales como los más aptos o propicios para la localización de PCH.

---

<sup>31</sup> Información obtenida en terreno.

Figura N° 13: Aforos caudales en río Blanco. Ver Anexos del N° 9 al 17.





### 6.3.2 Obtención y determinación de pendientes apropiadas:

Las pendientes del área de estudio se elaboraron a partir de imágenes formato SRMT<sup>32</sup> obtenidas del sitio “*Earth Science Data Interface (ESDI) at the Global Land Cover Facility*” llamada SRMT GTOPO30, Arcsec, Unfinished, South America (USGS, 2000)

Dicha imagen se manipuló con el software Global mapper, considerado como uno de los mejores y más simples a la hora de visualizar imágenes satelitales y realizar procesos como triangulaciones y obtención de curvas de nivel, “*Global Mapper es una herramienta GIS para producir datos geográficos de una manera detallada y completa. Genera y combina datos en los más variados formatos soportados por la industria cartográfica*” (www.Globalmapper.com, 2010).

Para obtener las curvas de nivel de forma precisa y exacta, como lo obliga el modelo, se definió una equidistancia de tres metros entre cada una de éstas, así con la herramienta “*Generated Contour*” del Global Mapper, se elaboraron las curvas con la precisión necesaria para el estudio, cabe decir que el Instituto Geográfico Militar cuenta con la información, pero a una escala demasiado pequeña (equidistancia de 50 Mts.)

Luego, las curvas de nivel fueron exportadas como shapes al programa Arc-gis, donde, se realizaron los siguientes procesamientos:

- Modelo de elevación digital.
- Este modelo se transformo a un formato raster, en base a las pendientes del área.

---

<sup>32</sup> Acrónimo en Inglés de la misión con la cual fueron obtenidas las imágenes satelitales, “The Shuttle Radar Topography Mission”, año 2000.

- Por último se reclasificaron las pendientes obtenidas del modelo rasterizado, según los parámetros que se consideraron como aptos o no - presentados en el ítem de resultados-

Las mediciones de pendientes realizadas en terreno con eclímetro arrojaron que en los sectores donde se aforó el caudal del río, es decir, partes baja, media y alta, tienen una pendiente de 6, 8 y 7 grados respectivamente.

La definición de la aptitud de la pendiente, para la localización de PCH, se estableció de la siguiente forma:

Se planteó una distancia mínima de 50 m entre bocatoma y sala de máquina, esta distancia en función de la pendiente, es la que determina finalmente la altura del salto de agua y, por ende, el potencial bruto teórico de la PCH.

El agua podrá ser llevada mediante canales o tuberías a presión, dependiendo del modelo y diseño de la central, pero se debe considerar una pérdida de altura mínima de 50 centímetros por cada 50 metros que avanza el canal o tubería<sup>33</sup> o un desnivel de 1° aprox. (pendiente que necesita el agua para moverse).

Propuesto lo anterior, se procedió a realizar operatorias de trigonometría básica, para determinar el ángulo necesario para obtener distintas alturas de caída del agua y así en definitiva, estimar preliminarmente la factibilidad del área de estudio en función al salto de agua que eventualmente se podría generar.

(ver Anexo N° 7, Esquematización Pequeña Central Hidroeléctrica, para cálculos y determinación de saltos de agua utilizable, según las pendientes del cauce natural (río Blanco).

---

<sup>33</sup> Javier Gho, en entrevista personal.

### 6.3.3 Tipos de suelo:

La determinación de los mejores tipos de suelo para el emplazamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas, se estableció con la información base obtenida del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) y mediante entrevistas con expertos en el tema suelos.

El estudio agrológico con su respectiva descripción de suelos, materiales y símbolos de la región de la Araucanía, elaborado por CIREN data del año 2002. Con esta información se procedió a categorizar los suelos en función a la capacidad de uso de éstos en el área de estudio, siendo los menos aptos los con mejores capacidades de uso y vice versa.

La caracterización anterior se llevó a cabo con la espacialización de los usos obtenidos de las ortofotos número 64 (Curacautín) y 65 (Manzanar) de la comuna de Curacautín, en las cuales se identifican cuatro tipos de series de suelos con sus respectivas variaciones.

Por su parte, la espacialización de las capacidades de uso se realizó interpolando las capacidades colindantes al río del área de estudio, es decir, si un trayecto del río presentaba en una ribera una serie de suelo con capacidad I y en la ladera opuesta una de clase III, a ese trayecto del río se le asignará una capacidad de uso II por promedio aritmético simple.

Por otro lado, cuando el promedio aritmético simple arrojo un resultado con fracción decimal, se aproximó siempre hacia la clase más alta, por lo tanto, la con menos capacidad de uso. Ejemplo, entre clases II y VII, se otorgó una clase V al respectivo trayecto del río.

A continuación, se presentarán las series de suelos y sus respectivas capacidades de uso, colindantes al río Blanco dentro del área de estudio.

Series de suelos y sus variaciones encontradas dentro del área de estudio:

- Serie Rarirruca (RRC), Franco Limosa.  
Variaciones: RRC – 1, Capacidad de uso de suelo II.  
RRC – 2, Capacidad de uso de suelo III.  
RRC – 3, Capacidad de uso de suelo IV.  
RRC – 4, Capacidad de uso de suelo VI.  
RRC – 5, Capacidad de uso de suelo VII.
- Serie Curacautín (CTN), Franco Limosa.  
Variaciones: CTN – 1, Capacidad de uso de suelo II.
- Serie los Prados (LOP), Franco Limosa.  
Variaciones: LOP – 4, Capacidad de uso de suelo VI.
- Tipos misceláneos de suelos, Terrenos Rocosos.  
Capacidad de uso de suelo VIII.

#### 6.3.4 Usos de suelo:

Los usos de suelos utilizados en el modelo para definir la mejor localización de PCH en el área de estudio y su posterior utilización, fueron los obtenidos del catastro actualizado de CONAF - CONAMA año 2005, complementados con información de terreno y una posterior confirmación con el software Google Earth, mediante la técnica de la foto lectura.

Los usos de suelos identificados en el área de estudio extraídos del catastro actualizado CONAF – CONAMA, 2005, son los siguientes:

- Matorral Abierto
- Praderas Anuales
- Renoval Abierto
- Renoval Semi-denso
- Renoval Denso
- Rotación Cultivo Pradera
- Recreación y Turismo

Los criterios utilizados para definir los usos de suelos más accesibles para localizar las PCH poseen un enfoque preferentemente medioambiental, cruzados con sesgos económicos y sociales. Dichos criterios fueron confeccionados en base a entrevistas con expertos<sup>34</sup> en el tema.

---

<sup>34</sup> Ingenieros Forestales, Geógrafos y Agrónomos.

### 6.3.5 Determinación de distancia a la red eléctrica:

La distancia entre el lugar de emplazamiento y la red eléctrica es un aspecto fundamental a la hora de planificar la localización de PCH, tal como ya se ha mencionado en capítulos anteriores (a menor distancia, mayor potencial).

Para confeccionar el modelo de aptitud de potencial hidroeléctrico en el río Blanco, se utilizaron todas las redes eléctricas cercanas al área de estudio, ubicadas al costado de los caminos principales. Luego, con los parámetros de distancias aptas establecidos (ver resultados, ítem 7.5 Distancia red eléctrica), se procedió a utilizar la herramienta Multibuffer del software Arc-gis, definiendo específicamente las distancias de cada sector del río a la red eléctrica más cercana, para luego categorizar según proximidad.

Las redes eléctricas se levantaron mediante trabajo de terreno, debido a que no fue posible contar con dicha información de forma oficial, por determinación de la empresa distribuidora de la zona (ver discusiones).

### 6.3.6 Determinación de distancias a vías de acceso:

La distancia entre el posible emplazamiento de la PCH y una ruta de acceso transitable y en buen estado es un aspecto a considerar cuando se planifica la localización de una PCH.

El modelo se confeccionó con todos los caminos públicos existentes en el área de estudio, los que fueron reconocidos mediante la técnica de fotolectura en el software Google Earth y trabajo en terreno.

- Ruta Victoria – Curacautín – Túnel Las Raíces – Paso Pino Hachado, kilómetro 5 hacia el este desde Curacautín (pavimento).
- Camino Parque Nacional Congullío, kilómetro 3 hacia el poniente (pavimento).
- Camino Laguna Blanca hacia el Nor-Este (ripió en buen estado).

No se hizo distinción entre tipos de caminos, ya que todos se encuentran en buen estado y no presentan dificultades de accesibilidad.

Posteriormente, con los parámetros de distancias aptas establecidos (ver resultados, ítem 7.6 Distancia a vías de acceso), se procedió a utilizar la herramienta Multibuffer del software Arc-gis, definiendo específicamente las distancias de cada sector del río con la de la red vial más cercana, para luego categorizar según proximidad (a menor distancia, mayor potencial).

### 6.3.7 Limitantes a la localización de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas:

Se identificaron zonas que por sus características propias podrían generar algún tipo de conflicto territorial con la localización de PCH, ya sean naturales o antrópicas (ver resultados, ítem 7.7 Limitantes).

Se propone, por tanto, establecer radios de influencia o “*blindaje*” a aquellas zonas identificadas como conflictivas dentro del área de estudio, donde se podrán instalar PCH, pero fuera del radio de influencia del “*blindaje*” anteriormente mencionado y definido en la etapa de resultados (ver resultados, ítem 7.7 Limitantes).

Por otro lado, en el trabajo de terreno se pudo apreciar que existen zonas con alto potencial hidroeléctrico por sus características de caudal, pendiente, distancia a red y camino, entre otras, pero que poseen limitantes de carácter físico y/o puntual, como inaccesibilidad, riegos de movimiento en masa e inundaciones.

Para éstas, no se propondrá un “*blindaje*”, si no que serán consideradas como “No Aptas” para la localización de las PCH.

Cabe decir que los radios de influencia de los “*blindajes*”, serán diferenciales según el tipo de limitante de la cual se esté hablando.



## **VII Resultados.**

### 7.1 Definición y cálculo de Caudal:

En base a la revisión bibliográfica realizada para la definición de los criterios y sus respectivos parámetros, se cree que un caudal mínimo de emplazamiento para una PCH y su normal funcionamiento, en específico para el río Blanco en su tramo analizado, debe ser mínimamente de  $2\text{m}^3/\text{seg}$  como valor promedio mensual, sobre todo en época de estiaje. Lo anterior, posee una relación directamente proporcional a la altura de caída que se pueda generar entre la bocatoma y la turbina, ya que una gran altura de caída puede soslayar en un grado importante la cantidad de caudal (ver figura N° 15, página).

En función de la metodología antes expuesta, la medición de Caudales se llevó a cabo según lo propuesto por Mugerza (2008), arrojando por resultado lo siguiente:

**Tabla N° 4: Medición parte alta, aguas abajo de la junta del río Blanco-estero Caracoles:**

Ver Anexos N°: 9, 10 y 11.

Profundidad de la sección en cm:		
		$X_m = (0 + 20 + 25 + 39 + 55 + 75 + 75 + 80 + 100 + 103)/10$
		$X_m = 57,2 \text{ cm} / 100$
		$X_m = 0,572 \text{ mt}$
Area A en metros cuadrados:		$A = 0,572 \text{ mt} * 13,40 \text{ mt}$
		$A = 7,6648 \text{ mt}^2$
Tiempo que tarda la botella en recorrer la seccion de control		$T = (21 + 22 + 20 + 25 + 22 + 22 + 19 + 18 + 18 + 20) / 10$
		$T = 20,7 \text{ seg}$
Volumen de agua:		$V (\text{m}^3) = 10 * 7,6648 \text{ mt}^2$
		$V (\text{m}^3) = 76,648$
Caudal circulante al momento de la medición:		$Q (\text{lt/seg}) = 76,648 (\text{m}^3) * 1000 (\text{lt/seg}) / 20,7 \text{ seg}$
		$Q (\text{lt/seg}) = 3702,8019$

Fuente: Elaboración propia, 2010.

**Tabla N° 5: Medición de caudal parte media, aguas arriba de la intersección del río Blanco con la ruta internacional Pino Hachado:**

Ver Anexos N°: 12, 13 y 14.

Profundidad de la sección en cm:	
	$X_m = (0 + 20 + 48 + 60 + 61 + 68 + 70 + 79 + 70 + 56)/10$
	$X_m = 532 \text{ cm} / 100$
	$X_m = 0.532 \text{ mt}$
Area A en metros cuadrados:	$A = 0.532 \text{ mt} * 13.80 \text{ mt}$
	$A = 0.532 \text{ mt} * 13.80 \text{ mt}$
	$A = 7.3416 \text{ mt}^2$
Tiempo que tarda la botella en recorrer la sección de control	$T = (29 + 18 + 16 + 13.5 + 21 + 15.6 + 13.6 + 14 + 13.4 + 17.4 + 18.9 + 13.9)/12$
	$T = 17.025 \text{ seg}$
Volumen de agua:	$V (\text{m}^3) = 10 * 7.3416 \text{ mt}^2$
	$V (\text{m}^3) = 73.416$
Caudal circulante al momento de la medición:	$Q (\text{lt/seg}) = 73.416 (\text{m}^3) * 1000 (\text{lt/seg}) / 17.025 \text{ seg}$
	$Q (\text{lt/seg}) = 4312,2466$

Fuente: Elaboración propia, 2010.

**Tabla N° 6: Medición parte baja del río Blanco, aguas arriba de la junta río Blanco- río Negro**

Ver Anexos N°: 15, 16 y 17.

Profundidad de la sección en cm:	
	$Xm = (55 + 44 + 59 + 63 + 62 + 64 + 63 + 45 + 32 + 8)/10$
	$Xm = 495 \text{ cm} /100$
	$Xm = 0.495 \text{ mt.}$
Area A en metros cuadrados:	$A = 0.495 \text{ mt} * 15.2$
	$A = 0.495 \text{ mt} * 15.2$
	$A = 7.542 \text{ mt}^2$
Tiempo que tarda la botella en recorrer la seccion de control	$T = (17.94 + 17.76 + 16.91 + 17.00 + 18.49 + 14.85 + 18.78 + 18.22 + 15.93 + 19.99)/10$
	$T = 17.587 \text{ seg}$
Volumen de agua:	$V (\text{m}^3) = 10 * 7.542$
	$V (\text{m}^3) = 75.420$
Caudal circulante al momento de la medición:	$Q (\text{lt}/\text{seg}) = 75.420 (\text{m}^3) * 1000 (\text{lt}/\text{seg}) / 17.587 \text{ seg}$
	$Q (\text{lt}/\text{seg}) = 4288,3948$

Fuente: Elaboración propia, 2010.

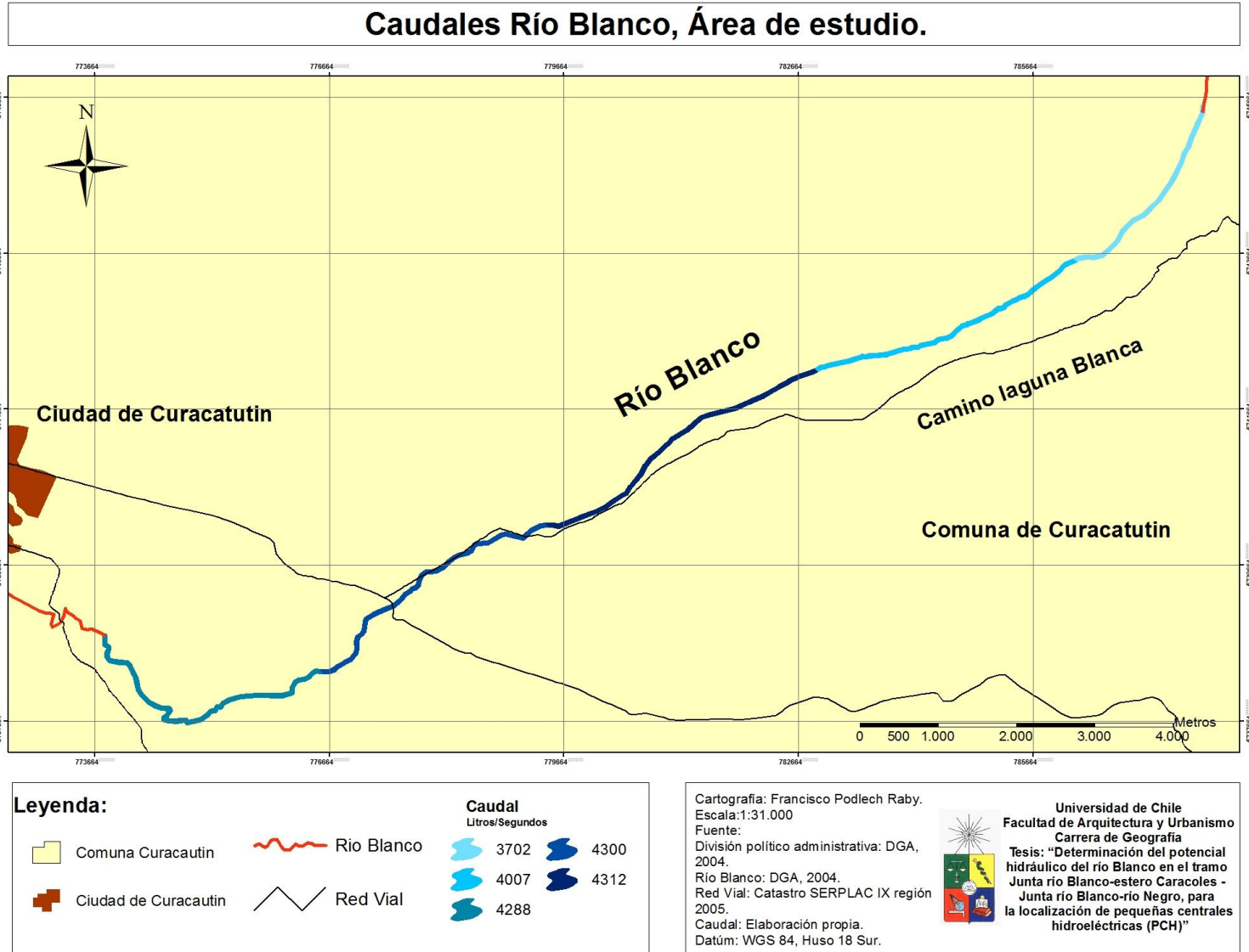
Con los caudales ya calculados, se categorizó según la aptitud de cada uno de éstos para la localización de PCH, en función a lo explicado en la metodología (ver metodología, ítem 6.3.1 Medición y cálculo de caudal).

**Tabla N° 7: Categorización caudales**

Zona	Caudal (M3/seg)	Caudal (Lt/seg)	Categoría
Parte alta	3,702	3702	5
Parte media alta (Interpolación)	4,007	4007	4
Parte Media	4,312	4312	1
Parte Media baja (interpolación)	4,3	4300	2
Parte baja	4,288	4288	3

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura N° 14: Caudales río Blanco, aforos en terreno e interpolación.



## 7.2 Definición y obtención de Pendiente:

Según la información secundaria revisada, se pudo establecer como mínima pendiente desde la boca toma (punto de captación) hasta la sala de máquinas (punto de restitución), un desnivel de 3 grados (0.83333 %) por curso del cauce<sup>35</sup>, en una distancia propuesta y tentativa de 50 metros. Esto equivale a una diferencia de altura mínima o salto de agua de 3 metros.

Al igual que el criterio anterior, la potencia de una PCH está directamente relacionada con el caudal y la diferencia de altura entre los puntos de captación y restitución.

En la figura N° 15, se pueden apreciar los distintos campos de acción y rangos de funcionamiento, de los tipos más importantes de turbinas que actualmente se encuentran presentes en el mercado de la generación hidroeléctrica.

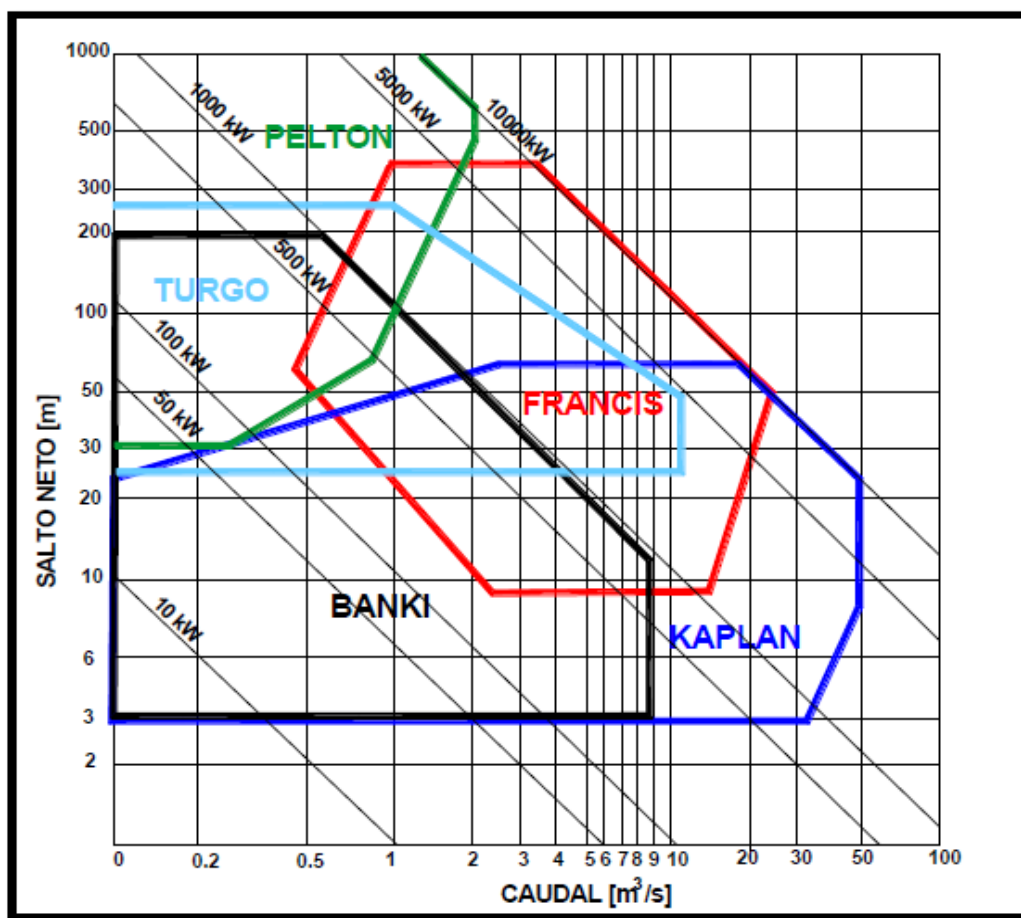
Cada uno de estas turbinas, esta diseñada para generar energía en ambientes y condiciones particulares, así se tienen las turbinas tipo Pelton y Turgo, diseñadas específicamente para generar energía con grandes saltos de agua, es decir, en grandes presas o embalses destinados al riego (ver marco teórico, ítem 5.6.2 Centrales de pie de presa), así también se encuentran las turbinas tipo Banki o Kaplan, diseñadas para generar energía con pequeños y medianos saltos de agua (PCH), y por último, la turbina Francis que presenta un campo de acción más bien intermedio.

---

<sup>35</sup> Es la pendiente del cauce en una distancia de 50 metros, así se estima el salto de agua que se puede llegar a producir entre la bocatoma hasta la sala de máquina; El canal de derivación el cual, en definitiva, se conduce el agua desde bocatoma hasta sala de máquina, está ubicado al costado del cauce y es construido con la mínima pendiente (1° aprox.) con la cual el agua puede avanzar, y así, perder la menor cantidad de carga/energía posible.

5.6.1 Central de agua fluyente o de pasada:

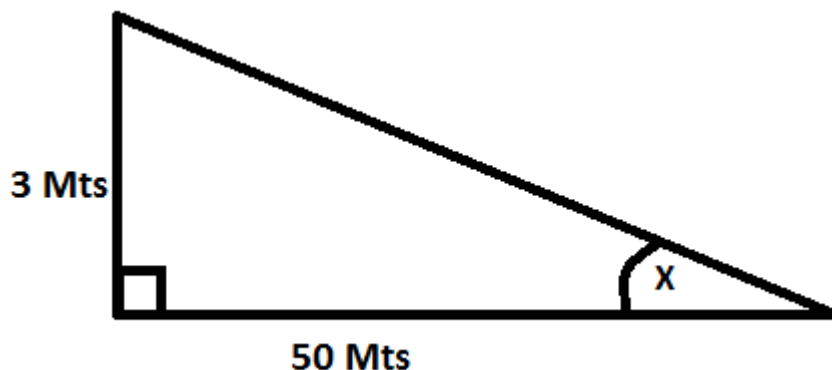
Figura N° 15: Campos de acción turbinas hidroeléctricas.



Fuente: Micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas (Javier Gho, 2009).

Las alturas de caída o saltos de agua que se obtuvieron con los cálculos trigonométricos en función a las características ya mencionadas, son las siguientes:

Ejemplo:



$$\text{Tangente } X = 3 / 50$$

$$X = 0.06 * \text{Tangente}^{-1}$$

$$X = 3.0012^\circ$$

Altura de caída (H):

- H = 3 Mts → 3 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
0.8333 % de Pendiente en 50 metros.
- H = 4 Mts → 4 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
1.1111 % de Pendiente en 50 metros.
- H = 5 Mts → 5 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
1.3888 % de Pendiente en 50 metros.
- H = 6 Mts → 6 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
1.6666 % de Pendiente en 50 metros.



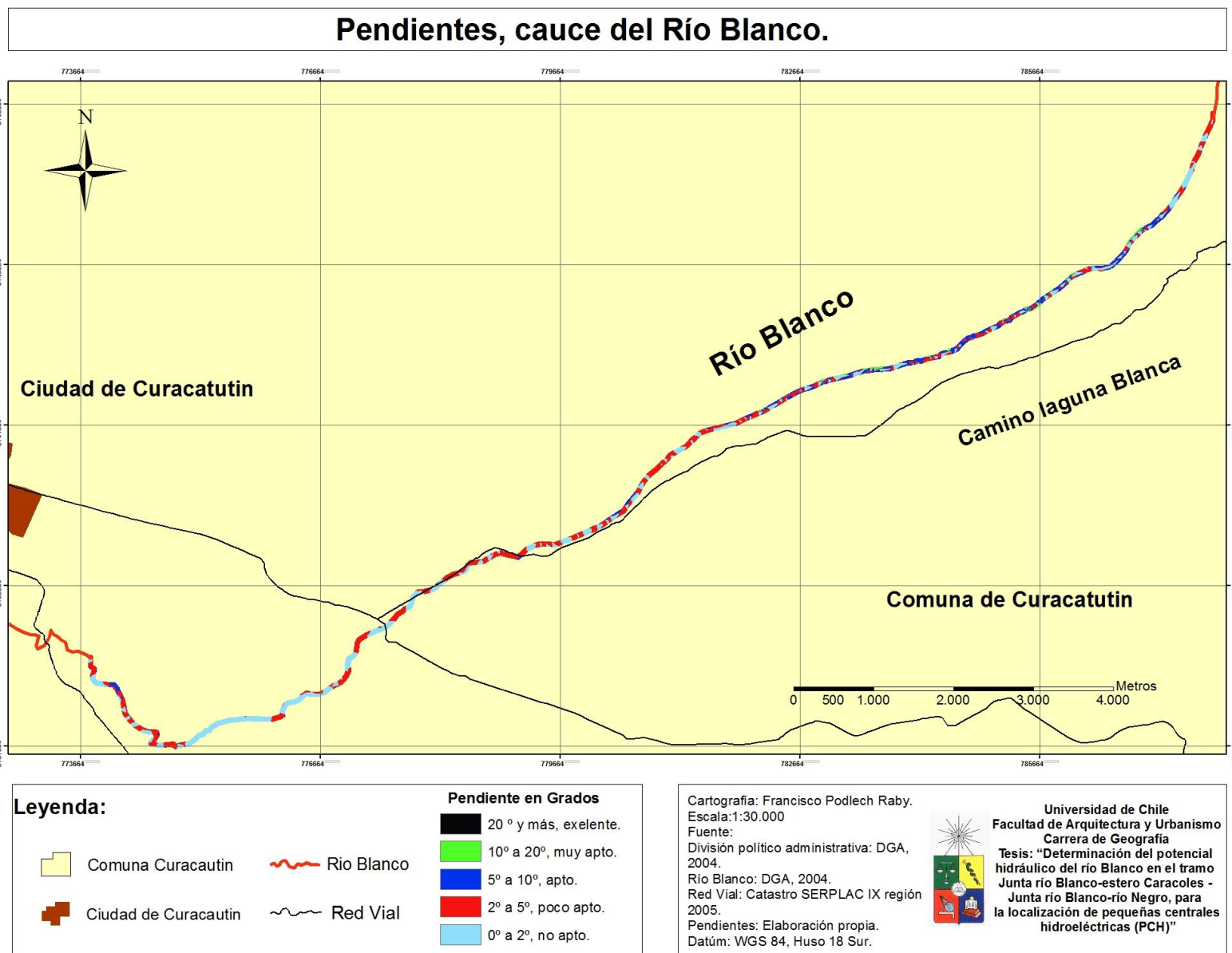
- H = 8 Mts → 9,5 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
2.2222 % de Pendiente en 50 metros.
- H = 10 Mts → 11 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
2.7777 % de Pendiente en 50 metros.
- H = 15 Mts → 16 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
4.1666 % de Pendiente en 50 metros.
- H = 20 Mts → 21 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
5.5555 % de Pendiente en 50 metros.
- H = 30 Mts → 31 Grados de Pendiente en 50 metros (aprox.)  
8.3333 % de Pendiente en 50 metros.

Tabla N° 8: Categorización pendientes.

Pendientes en Grados	Pendientes en Porcentaje	Categorización
0 - 2º	0 % - 0,5555 %	5
2º - 5º	0,5555 % - 1,3888 %	4
5º - 10º	1,3888 % - 2,7777 %	3
10º - 20º	2,7777 % - 5,5555 %	2
20º - 90º	5,5555 % - 100 %	1

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura N° 16: Pendientes, caja del río Blanco.



### 7.3 Identificación tipos de suelo:

Series y capacidades de usos de suelos colindantes al río Blanco e interpoladas dentro del área de estudio.

#### **Serie Rarriruca, Franco Limosa**

La Serie Rarirruca es un miembro de la Familia medial, méstica de los Eutric Pachic Fulvudands (Andisol).

Suelos en topografía de lomajes suaves con pendientes entre 2 y 20%, de permeabilidad moderada y bien drenada. Presenta fragmentos de pómez bajo los 40 cm y que aumentan en profundidad.

#### **Variaciones de la Serie Rarirruca**

*RRC - 1* Representa a la Serie y corresponde a suelos de textura superficial franco limosa, profundos, ligeramente ondulados con 2% a 5% de pendiente y bien drenados. Se clasifica en:

- Capacidad de Uso: II,

*RRC - 2* Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, suavemente ondulada con 5% a 8% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en:

- Capacidad de Uso : III

*RRC - 3* Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, moderadamente ondulada con 8% a 15% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en:

- Capacidad de Uso : IV

*RRC - 4* Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, fuertemente ondulada con 15% a 20% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en:

- Capacidad de Uso : VI

*RRC - 5* Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, en topografía de lomajes con 20% a 30% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en:

- Capacidad de Uso: VII

### **Serie los Prados:**

La Serie Los Prados es un miembro de la Familia medial, mélica de los AcrudoxicMelanudands (Andisol).

Son suelos que se ubican en la parte alta del Llano Central e inicios de la precordillera a una altura de 350 a 500 msnm. Se presentan en forma de depósitos de cenizas volcánicas sobre planos fluvio-glaciares. De textura superficial franco limosa y color pardo muy oscuro en matices 7.5YR; de textura franco limosa y color pardo en el matiz 7.5YR en profundidad. Se presentan en una amplia gama de pendientes, desde topografías onduladas a cerros y montañas. La permeabilidad es moderada y bien drenados.

La Variación de la serie Los Prados encontrada en el área de estudio es la siguiente:

*LOP - 4* Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, profunda, fuertemente ondulada con 15% a 20% de pendiente y bien drenada. Se clasifica en:

- Capacidad de Uso : VI

### **Serie Terrenos Rocosos.**

Corresponde a terrenos con afloramientos rocosos y cubiertos de clastos (bolones y piedras), dejando entre ellos suelos delgados y de texturas gruesas. Ocupa una topografía variable de lomajes a cerros y montañas, con pendientes de 20% a más de 50%. Se clasifica en:

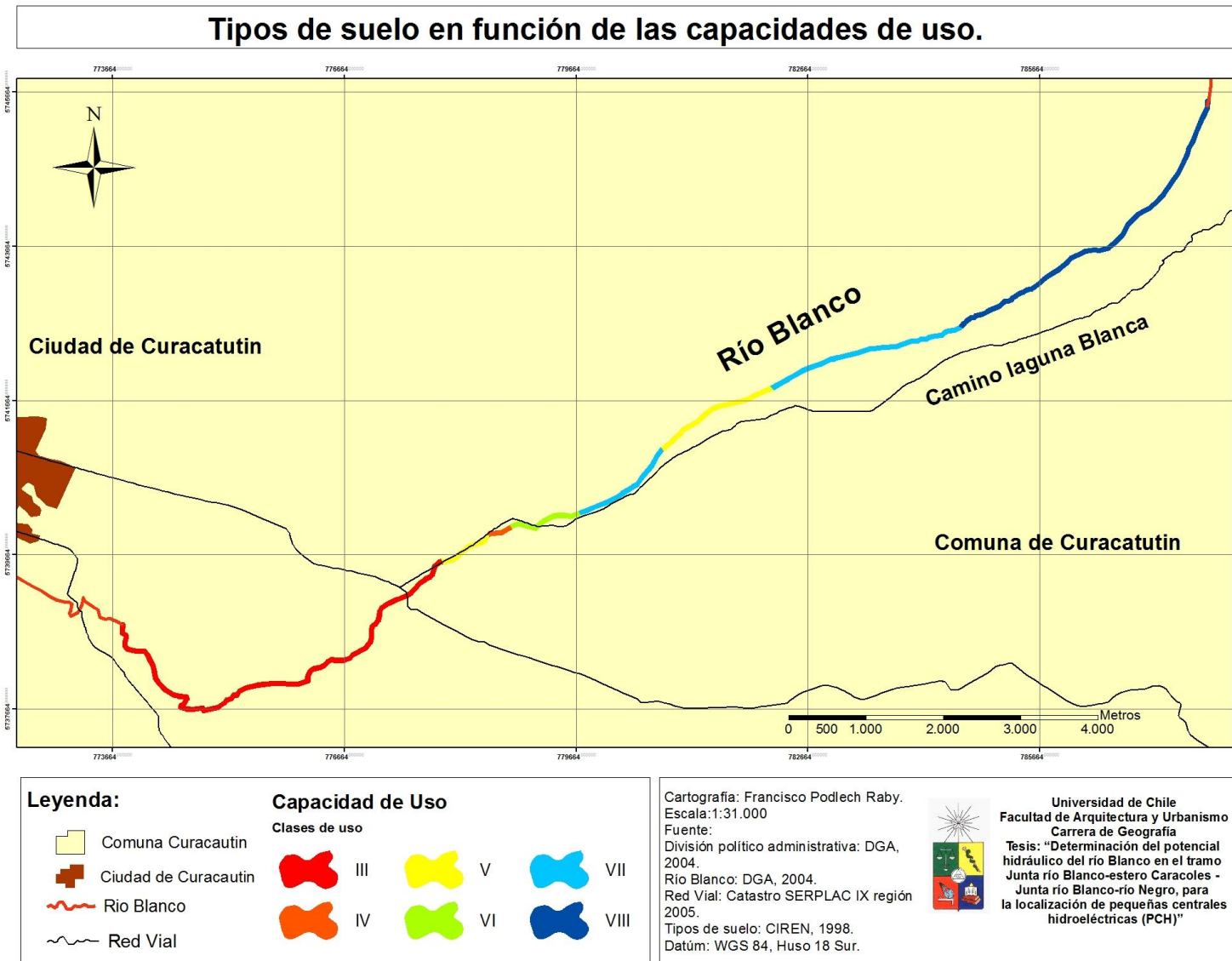
- Capacidad de Uso: VIII

**Tabla N° 9: Categorización tipos de suelo (según capacidad de uso).**

<b>Capacidad de Uso de suelo</b>	<b>Categorización</b>
I	8
II	7
III	6
IV	5
VI	4
VI	3
VII	2
VIII	1

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura N° 17: Tipos de suelos en función a la capacidad de uso, interpolados colindantes.



#### 7.4 Identificación y categorización de Usos de suelo:

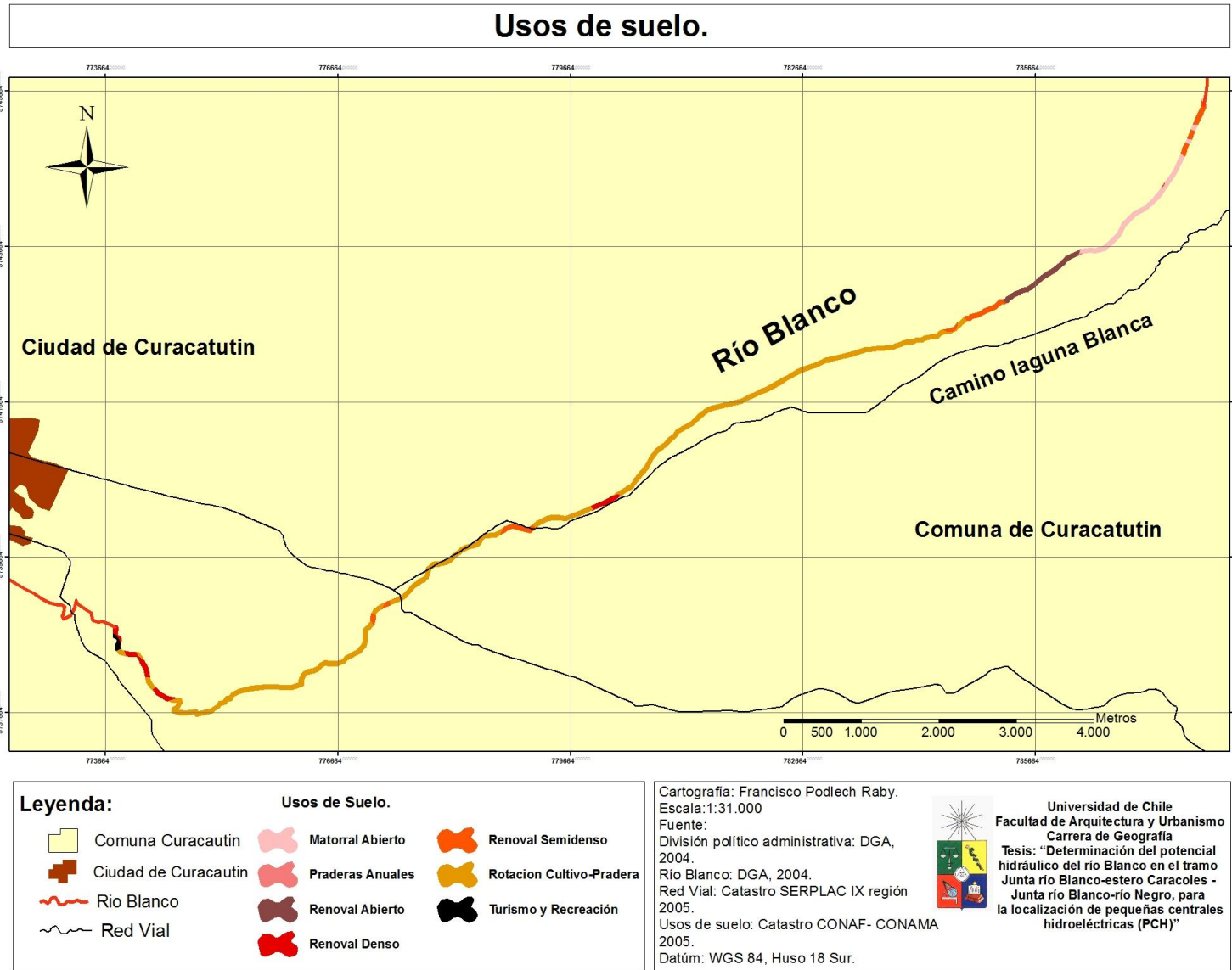
Los usos de suelos categorizados colindantes al río Blanco e interpolados al área de estudio son los siguientes:

**Tabla N° 9: Categorización usos de suelo.**

<b>Uso de suelo</b>	<b>Categorización</b>
Matorral Abierto	1
Praderas Anuales	2
Rotación Cultivo Pradera	3
Renoval Abierto	4
Renoval Semi-denso	5
Renoval Denso	6
Recreación y Turismo	7

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura N° 18: Usos de suelos interpolados, colindantes.





### 7.5 Distancia red eléctrica:

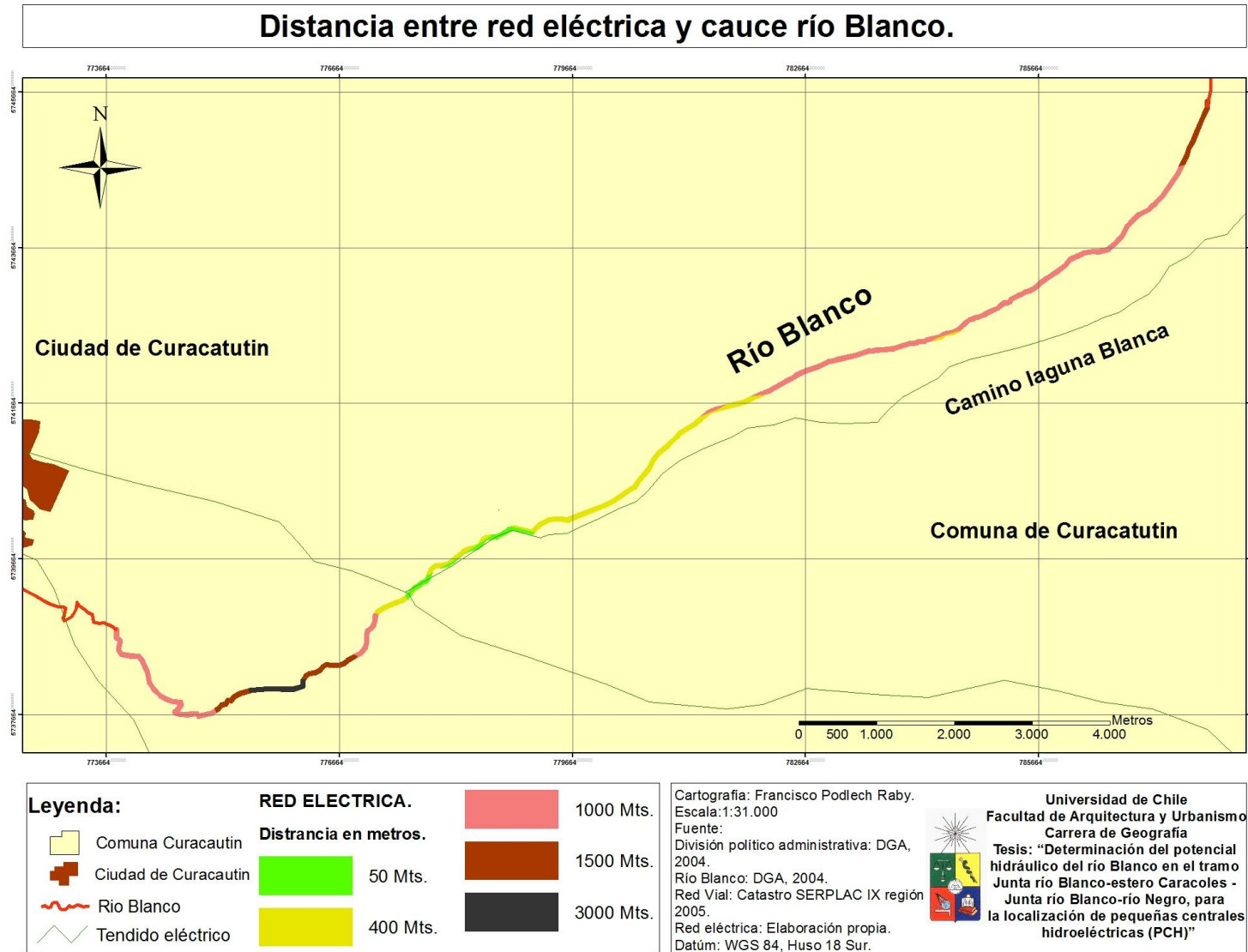
Se categorizó según la situación específica del área de estudio. Distancia entre la red eléctrica y posibles localizaciones de PCH-CN:

**Tabla N° 10: Categorización red eléctrica.**

<b>Distancia red eléctrica</b>	<b>Categorización</b>
0 - 50 mt.	1
50 mt. - 400 mt.	2
400 mt. – 1 km.	3
1 km. – 1.5 km.	4
1.5 km. y 3 km.	5

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura N° 19: Distancias entre red eléctrica y cauce río Blanco.



#### 7.6 Distancia a vías de acceso:

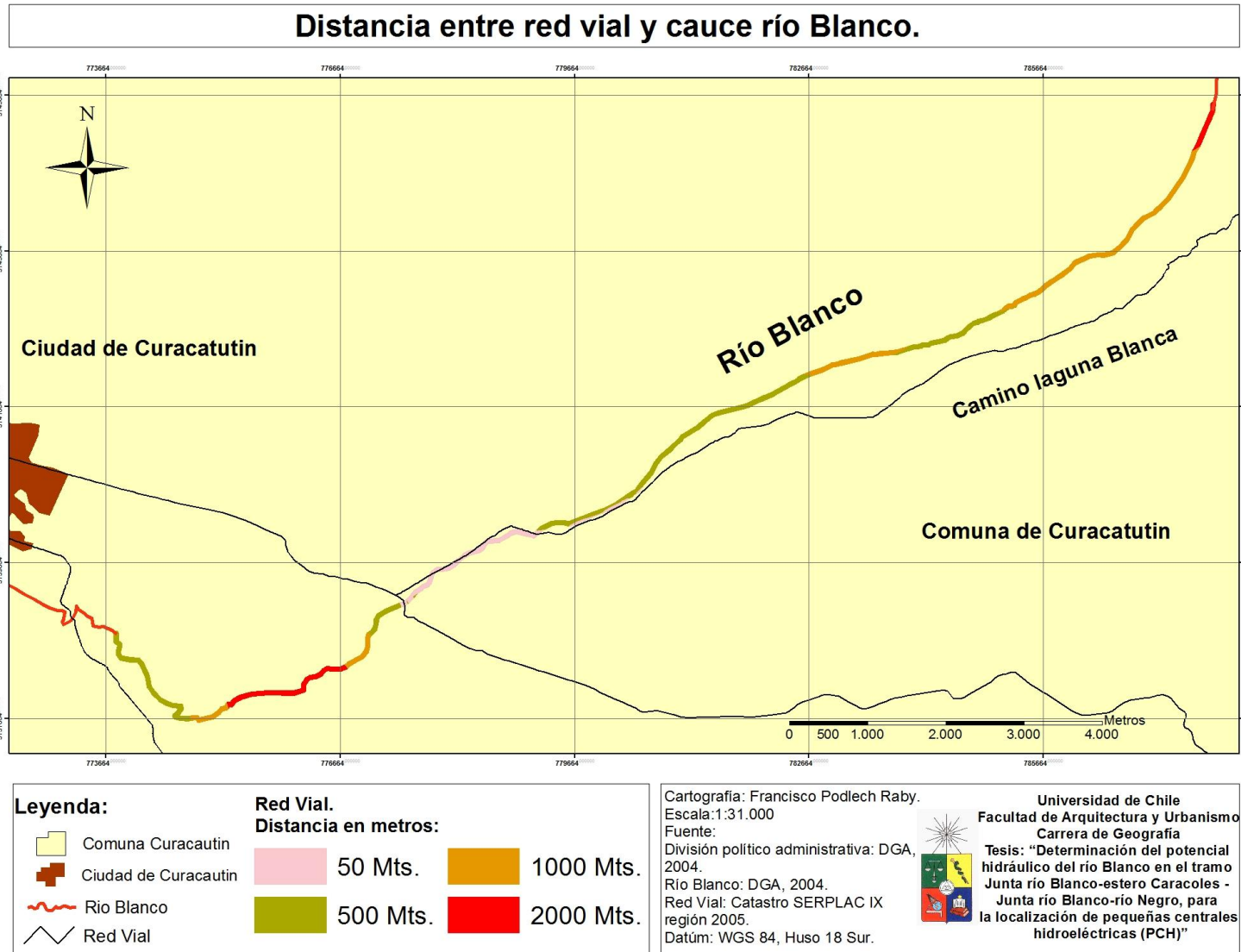
Se categorizó según la situación específica del área de estudio. Distancia entre la red vial existente y posibles localizaciones de PCH-CN:

**Tabla N° 11: Categorización red vial.**

<b>Distancia Red vial</b>	<b>Categorización</b>
0 - 50 mt.	1
50 mt. - 500 mt.	2
500 mt. – 1 km. .	3
1 km. – 2 km.	4
2 km. y 4 km.	5

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura N° 20: Distancia entre red vial y cauce río Blanco.



## 7.7 Limitantes:

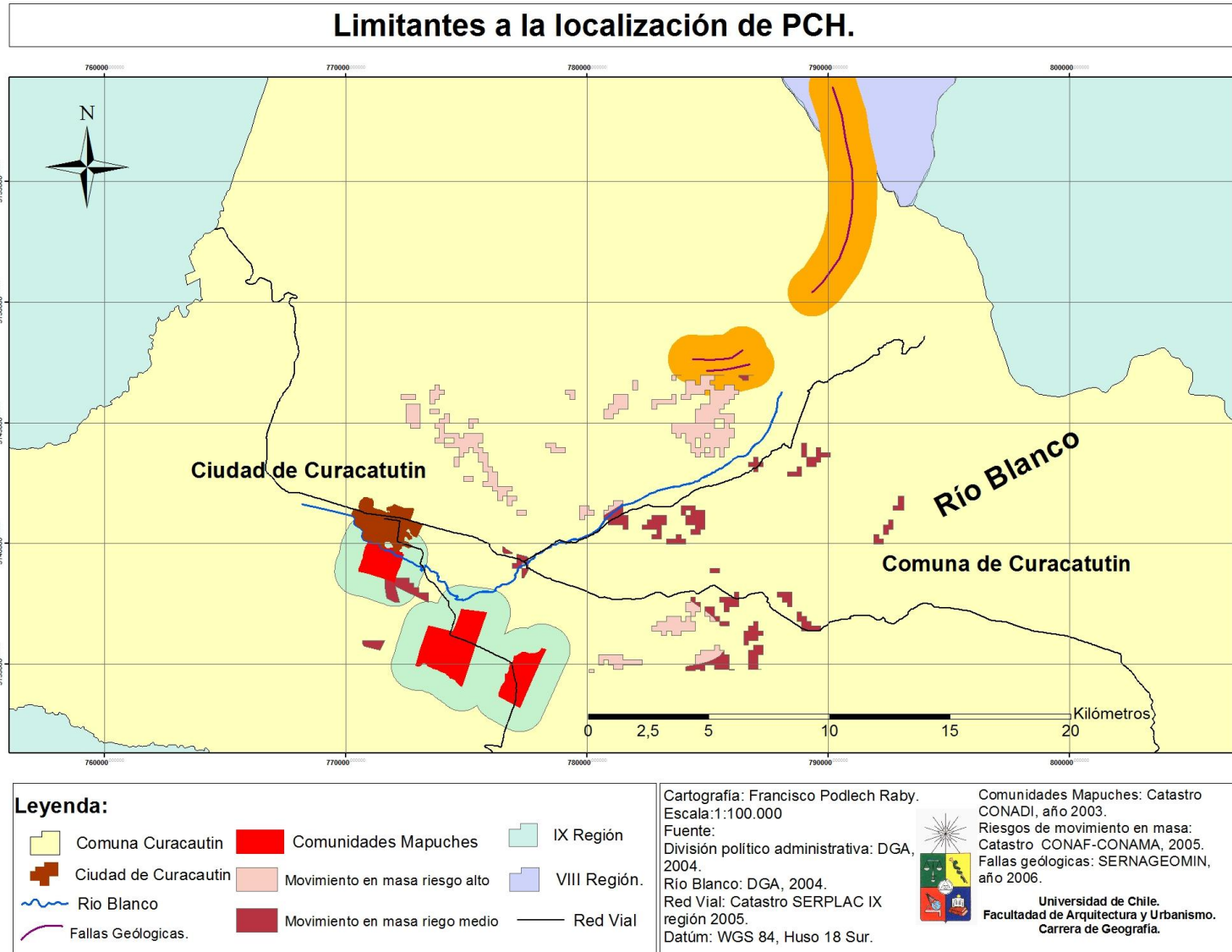
### Resultados Zonas establecidas como limitantes con “blindaje”:

- Comunidades indígenas, “blindaje” de 1 km. (Catastro CONADI, 2003)
- Usos Sociales tradicionales, “blindaje” 1 km. (Información obtenida en terreno)
- Esparcimiento público (playas, zonas de camping, turismo aventura, etc.) “blindaje” 500 mt. (Información obtenida en terreno)
- Usos actuales específicos de suelo que entren en conflicto con la localización de una PCH, “blindaje” 250 metros. (Información obtenida en terreno y foto lectura con el software Google Earth)
- Sistema Nacional Áreas Protegidas Silvestres del Estado (SNASPE), “blindaje” 1 km. (Catastro actualizado CONAF – CONAMA, 2005)
- Presencias de fallas geológicas, “blindaje” de 1 km. (SERNAGEOMIN, sin año)

### Zonas identificadas como limitantes “No Aptas”:

- Sectores con riegos de movimientos en masa. (Catastro actualizado CONAF – CONAMA, 2005)
- Sectores con acantilados o escarpes muy pronunciados. (Información obtenida en terreno y carta 1:50000 del IGM, Curacautín)
- Sectores con riegos de inundación. (Catastro actualizado CONAF – CONAMA, 2005)
- Sectores con topografía inaccesible. (Información obtenida en terreno).

Figura N° 21: Limitantes a la localización de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.



### VIII. Análisis carta síntesis:

La carta síntesis muestra la aptitud del área de estudio en base a los criterios territoriales, técnicos y físicos compilados y trabajados según la importancia definida para cada uno de éstos, en función a la localización de PCH en el río Blanco.

Dicha carta síntesis es el producto último de la presente investigación. A grandes rasgos, muestra los siguientes porcentajes de aptitud para la localización de PCH en relación al área total:

Tabla N° 12: Porcentaje de aptitudes en función a localización de PCH en el río Blanco.

<b>APTITUDES</b>	<b>Porcentaje de superficie en relación al total del área de estudio.</b>
“Excelente”	: 2.0 %
“Muy Apta”	: 16.2 %
“Apta”	: 29. 8%
"Poco Apta”	: 21.3 %
“No Apta”	: 30.4 %

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Tal como se aprecia en el cuadro anterior y en la carta síntesis de forma gráfica, el río Blanco -en su tramo investigado- presenta un porcentaje del 48 % (suma de las aptitudes Aptas, Muy Aptas y Excelentes) de áreas lo suficientemente aptas en cuanto a la localización de PCH se refiere.

Es necesario tener en cuenta que no solo se persigue obtener aptitudes “Aptas” a la hora de localizar una PCH, sino más bien, es necesario contar con las más aptas aptitudes con el fin de minimizar los riesgos asociados a este tipo de tecnología. De acuerdo a lo anterior, se puede apreciar que un 18 % del total del área de estudio cumple con las dichas exigencias (Excelentes 2% y Muy Aptas 16 %).

**Figura N° 22: Carta síntesis.**

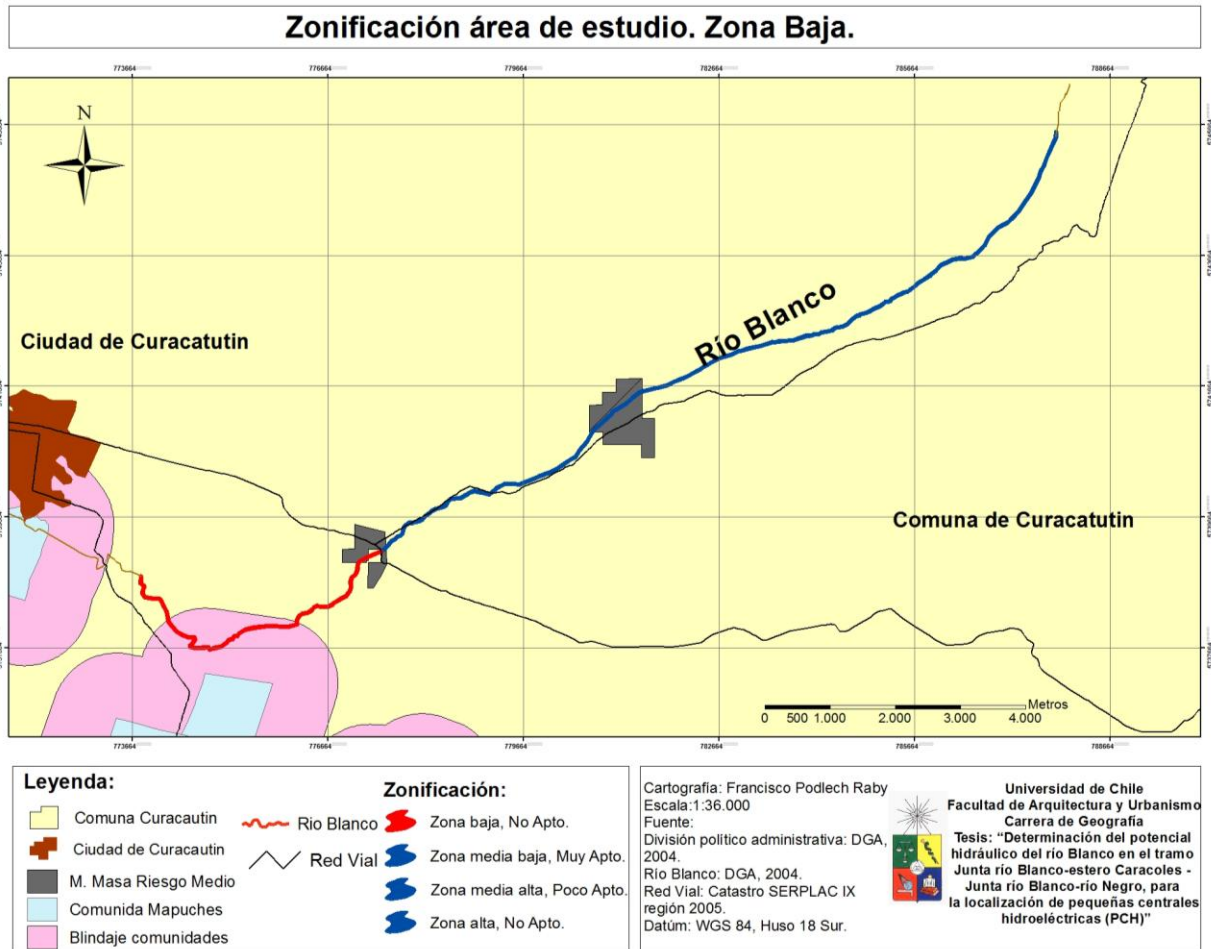
## **IX. Zonificación área de estudio, según carta de síntesis:**

La investigación denominada “Determinación del potencial hidráulico del río Blanco en el tramo Junta río Blanco-estero Caracoles - Junta río Blanco-río Negro, para la localización de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)” arroja por resultado que el río Blanco en el tramo estudiado, presenta 4 macro zonificaciones en cuanto aptitud de localización de PCH.

En primer lugar se presenta la parte baja del cauce, donde preferentemente se encuentran aptitudes “No Apta” y en menor medida “Poco Aptas” para la localización de PCH, producto principalmente por las bajas pendientes y caudales presentes en el lugar.



Figura N° 23: Zona baja, No apta.



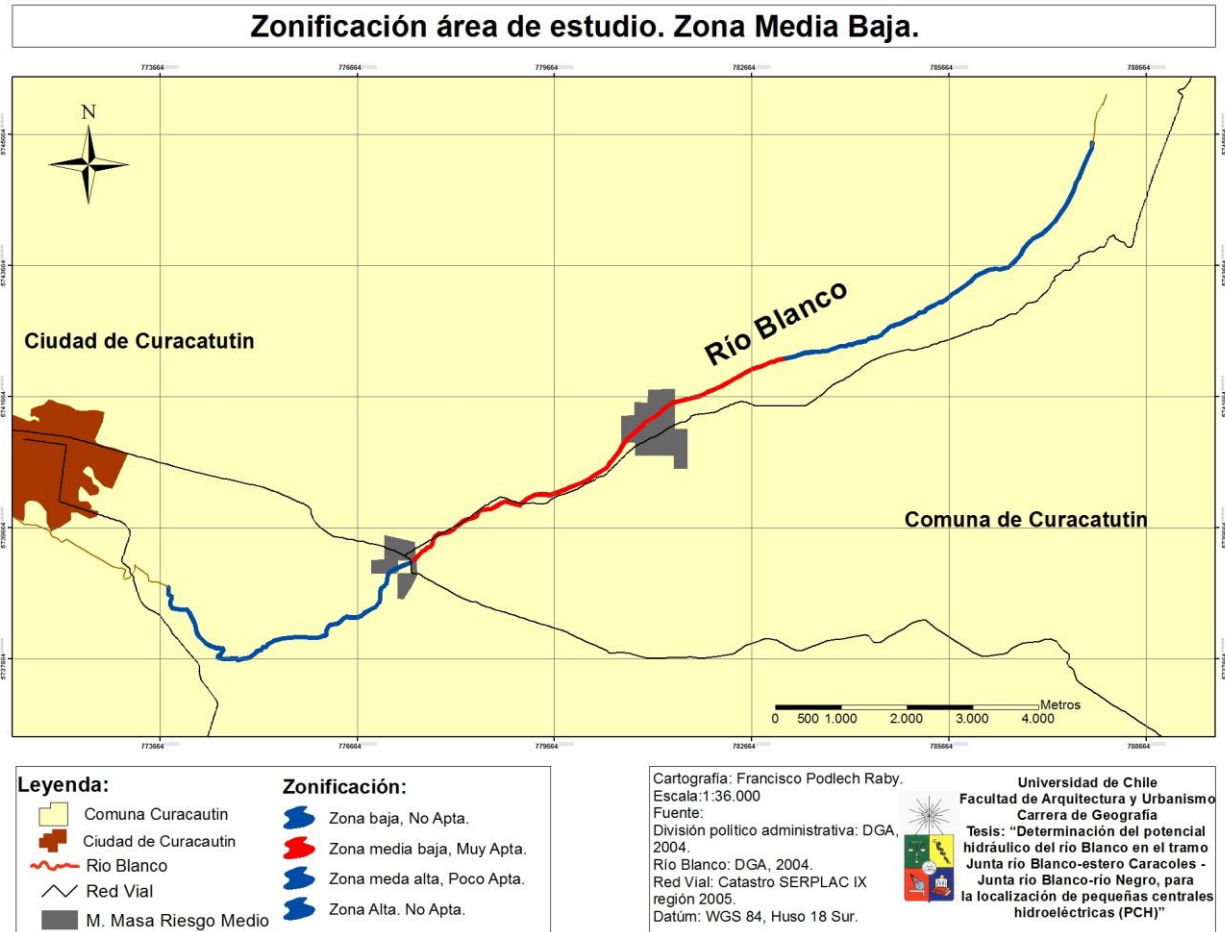
Cabe señalar, que además de las bajas aptitudes de la “zona baja”, tanto físicas como técnicas y territoriales evidenciadas en el modelo, presenta la mayor cantidad de limitantes para la localización de PCH, encontrándose 3 comunidades indígenas con sus respectivos “blindajes” y un área de riesgo medio de movimiento en masa, de aproximadamente 500 metros de longitud a través del cauce.

La segunda zona denominada “zona media baja” del área de estudio, se presenta como la más apta para la localización de PCH, encontrándose sólo en ella aptitudes denominadas, en el modelo, como “Excelentes”, para la localización. Además, se puede encontrar una gran cantidad de áreas con aptitudes “Muy Aptas” y “Aptas”, lugares que según los criterios antes establecidos serían completamente factibles para la localización de centrales mini hidro.

A lo largo de esta zona se ubica un área no menor de riesgo medio de movimiento en masa, con una extensión a través del cauce, aproximada de 1000 metros, lo que no inhabilita a los sectores con aptitudes “Excelentes”, por no coincidir geográficamente.

Es en este trayecto donde se propone la eventual localización de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, teniendo al menos 10 lugares con las más altas aptitudes de localización en base a los criterios técnicos, físicos y territoriales definidos para el estudio, sin evidenciar limitantes.

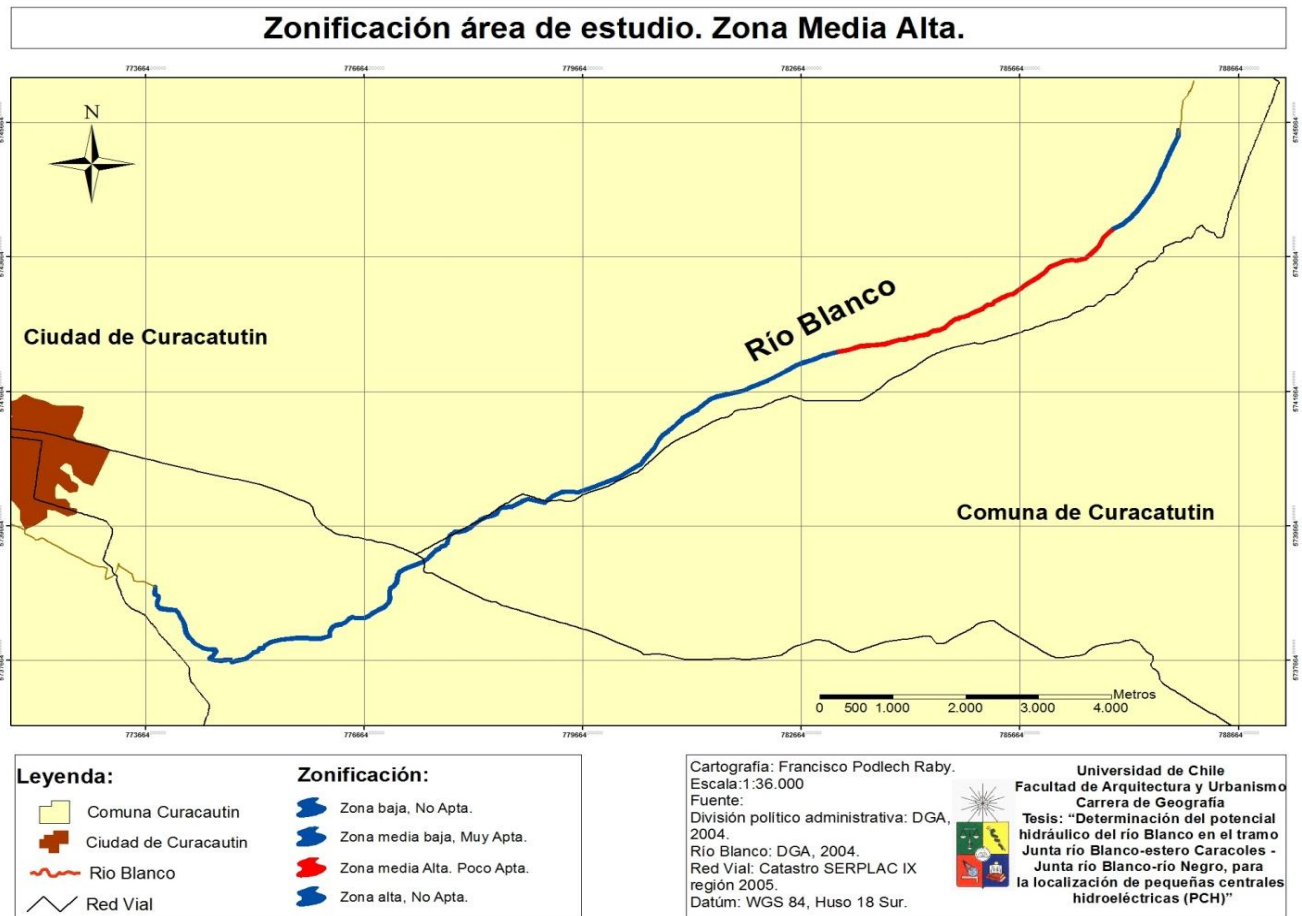
Figura N° 24: Zona media baja, Muy Apta.



La tercera zona llamada “zona media alta”, se caracteriza por la presencia de cantidades similares de áreas entre las categorías de aptitudes “No Apta”, “Apta” y “Poco Apta”, con un leve predominio de esta última. Sin embargo, se consideró que la zona en su totalidad y de forma homogenizada se presenta como “Poco Apta”, debido principalmente a las bajas pendientes de la zona, que fluctúan entre las categorías de 0° a 2° (No Apto), de 2° a 5° (poco apto) y de 5° a 10° (Apto).

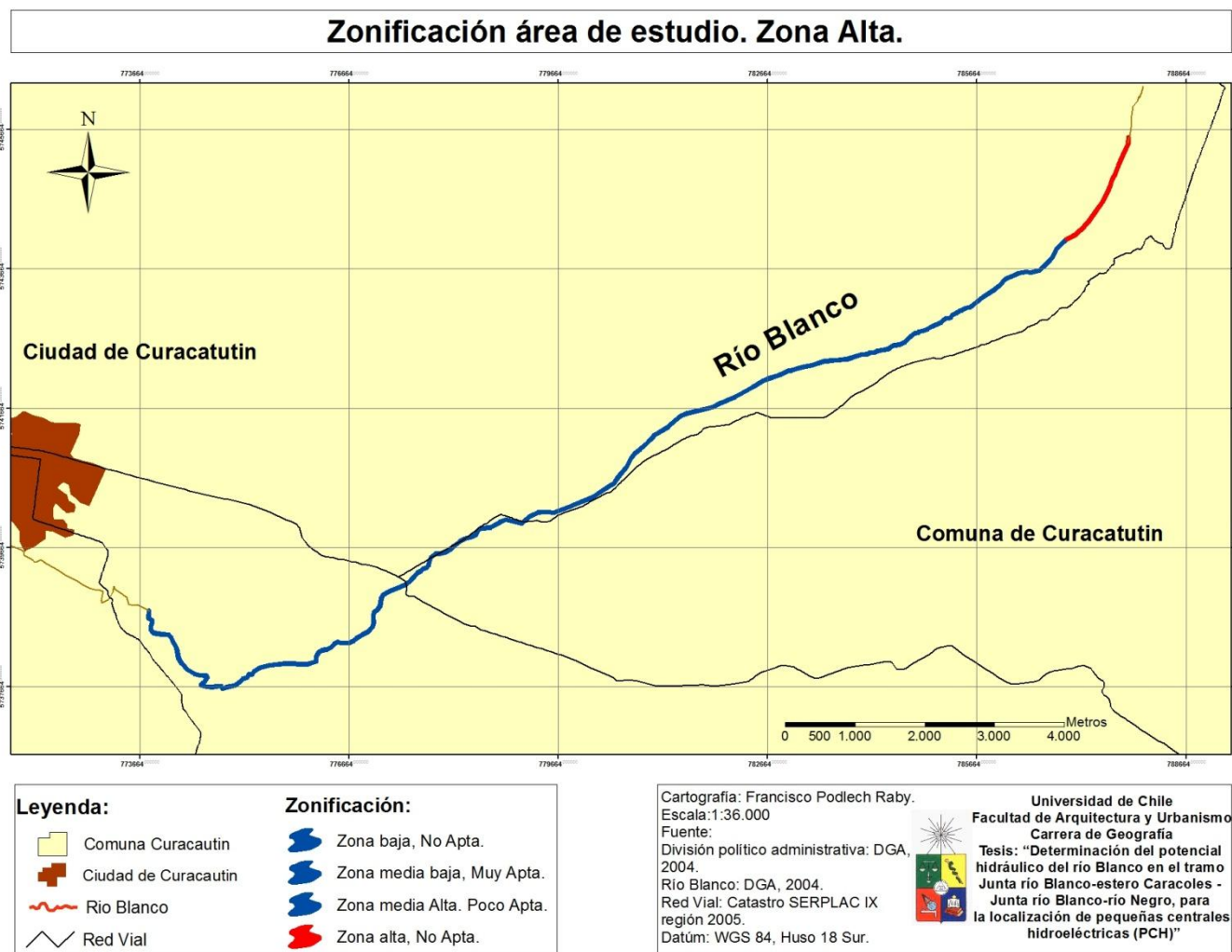
En este trayecto no se propone la localización de centrales mini – hidro, debido a las bajas aptitudes de localización.

Figura N° 25: Zona media alta, Poco Apta.



Por último, se halla la “zona alta” del área de estudio, donde se encuentran preferentemente aptitudes “No Apta” para la localización de PCH, con pocos sitios de aptitudes “Poco Apts” y unos cuantos más de aptitudes “Aptas”, sin embargo, el predominio de las primeras es notoriamente mayor.

Figura N° 26: Zona alta, No Apta.



## **X. Conclusiones, recomendaciones y sugerencias:**

El estudio realizado en el río Blanco, cuyo objetivo principal es la identificación del potencial locacional para la generación de energía eléctrica en base a Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, arrojó por resultados que el área de estudio posee un 48 % de áreas aptas para la localización de PCH.

En específico, el área de estudio cuenta con un 30 % de áreas “Aptas”, un 16 % con aptitudes “Muy Aptas” y un 2% de zonas con aptitudes “Excelentes”. El restante 52 % del área de estudio no posee las aptitudes físicas, técnicas y territoriales suficientes para albergar la localización de PCH, presentando aptitudes “Poco Aptas” (21%) y “No Aptas” (31%).

Del total de áreas con altos potenciales para la localización de PCH (18 %), suma entre las categorías “Excelentes” y “Muy Aptas”, fue posible identificar 13 sitios<sup>36</sup> óptimos de emplazamiento (ver figura n° 27, ítem Conclusiones, recomendaciones y sugerencias), 3 de los cuales resultaron inhabilitados debido al riesgo medio de movimiento en masa. Los restantes 10 sitios óptimos poseen las más aptas aptitudes tanto territoriales como físicas y técnicas para la localización y/o instalación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

Los nombrados 10 sitios óptimos de emplazamiento para PCH, están concentrados específicamente en la zona denominada media baja del área de estudio, en una sección de 3700 metros de longitud a través del cauce, siendo solo en ésta zona, donde se pueden encontrar sitios con aptitudes “Excelentes”, en las restantes tres zonificaciones realizadas en la investigación (zona baja, zona media alta y zona alta), no existen estas aptitudes.

---

<sup>36</sup> Lugares o micro zonas, que presentan las más altas aptitudes dentro del modelo desarrollado.

Cabe mencionar que no es posible localizar pequeñas centrales hidroeléctricas en todos los sitios óptimos propuestos, ya que se sobrepasaría la capacidad de carga del río<sup>37</sup>, conllevando negativas y prácticamente irreparables consecuencias ambientales, justamente, el efecto contrario de lo que se pretende con este tipo de medios de generación.

Un aspecto positivo del presente estudio, es el nivel de detalle con el cual se confeccionó la carta síntesis, escala 1:10.000, ya que otorga la posibilidad de trabajar en detalle y de manera precisa con cada una de las secciones del río presentadas en la carta, esto se torna importante, sobre todo, cuando se requiere operar con ella en términos prácticos.

Para que el desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en el país sea el adecuado y con tendencia al alza, debiese existir información técnica general como redes y subestaciones de carácter público y no privado (tal como se pudo evidenciar en la presente investigación), y así de esta forma, ayudar a des complejizar, al menos en parte, el desarrollo de estas pequeñas iniciativas.

Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, tal como se demuestra en la presente, son una posibilidad real a la problemática energética y medioambiental que actualmente presenta el país.

Sin embargo, no deja de llamar la atención que un río con las características del Blanco, -cordillerano, inserto en una zona de alta pluviosidad, con aportes de deshielos del volcán Tolhuaca, buena accesibilidad y cercano a la red eléctrica-, no posea estaciones fluviométricas en la parte alta de la cuenca, que permitan, a través, del

---

<sup>37</sup> Se entiende como la capacidad del sistema, en este caso el río Blanco y su entorno, de soportar de forma prolongada la localización de PCH sin que se produzca un deterioro importante del medio y los recursos existentes.

análisis estadístico de los datos, obtener estudios acabados del comportamiento de este y así potenciar el desarrollo de proyectos mini hidro<sup>38</sup>.

La hipótesis planteada en la presente investigación se considera cumplida, puesto que la cantidad de áreas con alto potencial locacional para Pequeñas Centrales hidroeléctricas, se considera elevada, 10 sitios óptimos de emplazamiento en un trayecto de 20 kilómetros aprox. es una cifra no menor, que otorga, bajo el canon de prefactibilidad de la presente investigación, un potencial suficientemente atractivo para la futura instalación de PCH.

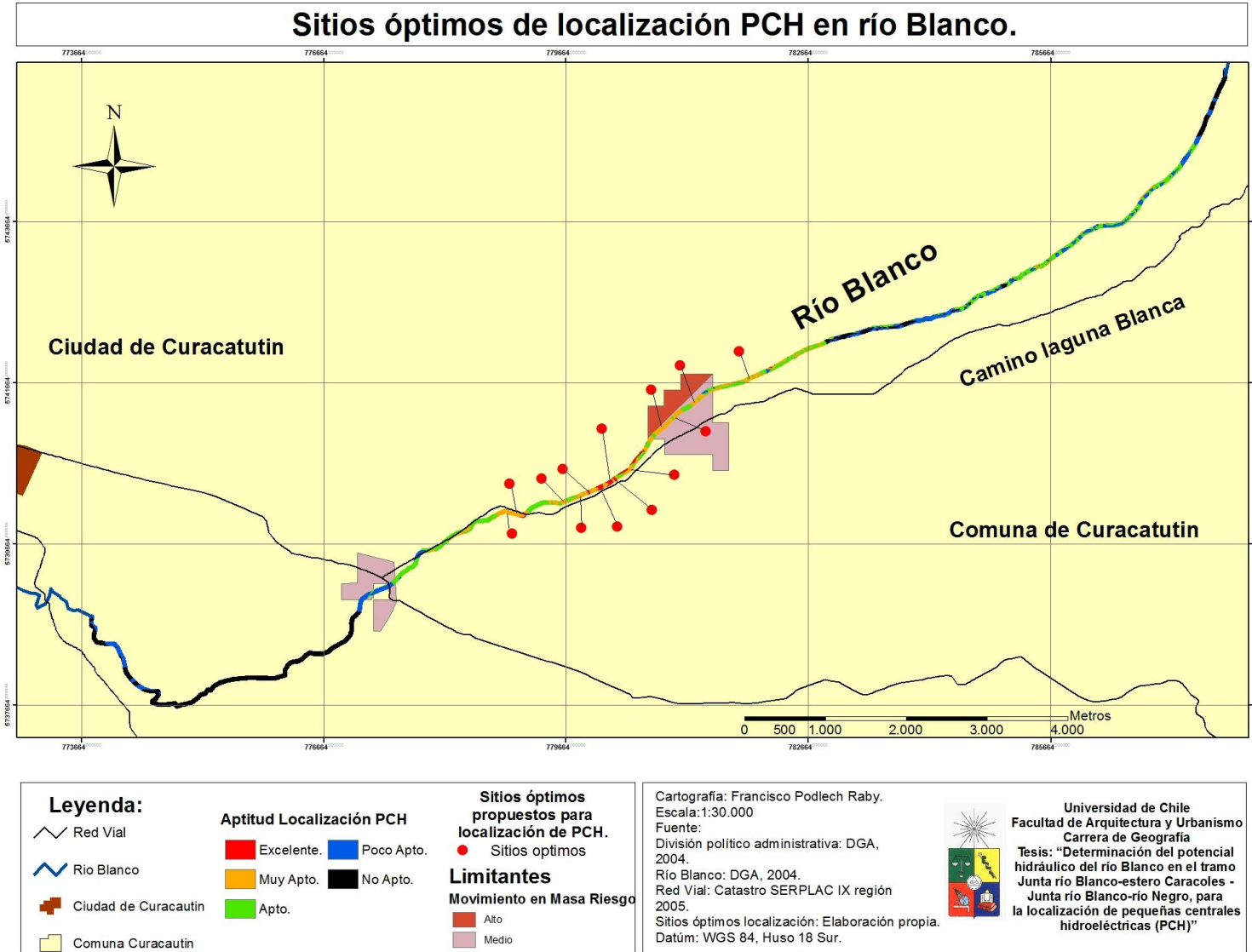
En definitiva, se puede decir que el potencial locacional mini – hidro del río Blanco en su tramo comprendido entre Junta río Blanco-estero Caracoles - Junta río Blanco-río Negro, es de nivel alto según los porcentajes de aptitud recogidos por el modelo confeccionado y la cantidad de sitios óptimos de emplazamiento identificados.

---

<sup>38</sup> Cabe mencionar que esta situación no es restrictiva al río Blanco, sino que, también afecta a gran parte de los cauces y cuencas precordilleranas del país.



Figura N° 27: Sitios óptimos de emplazamiento PCH.



## **XI. Discusión:**

Las necesidades energéticas que presenta Chile, junto con la dependencia y la insostenibilidad de la generación de energía en base a combustibles fósiles, otorgan un ámbito de acción a las Energías Renovables No Convencionales no menor y obligan a las autoridades nacionales a desarrollar estrategias energéticas más sustentables con el medio ambiente, económicamente rentables y atractivas para la inversión.

La nueva ley de Energías Renovables No Convencionales es un paso hacia delante en materia de políticas energéticas destinadas a cuidar el medioambiente, sin embargo, presenta deficiencias en cuanto a la venta de la energía y la conexión de los pequeños proyectos de renovables a la red, deficiencias que finalmente coartan la inserción de nuevos actores al sistema energético nacional.

Chile, a través de la ley corta I, la ley corta II y la nueva ley de ERNC, ha ido avanzando en cuanto a energías limpias se refiere, sin embargo, esta ley posee una falencia desde su concepción, ya que el mecanismo de apoyo a la introducción de las ERNC adoptado por el país, no beneficia ni incentiva a la integración de nuevos pequeños generadores de energía.

El llamado “*Quota System*”, está pensado y diseñado para generación de energía a gran escala (Vergara, 2010), y utiliza diferentes mecanismos pagados para determinar quien tiene acceso a la red, desfavoreciendo claramente a los pequeños, ya que esto torna, sumamente costosa la inversión (generalmente inviabilizandola).

El sistema que se debió haber adoptado Chile, tomando en consideración las barreras de entradas o problemas de conexión al sistema que presentan por ejemplo las PCH (Cardemil, Matthei, Laeger, *et al*), es el sistema denominado “*Feed-in tariff*”

donde la estrategia es ofrecer acceso a la red y un precio suficiente para manejar de manera rentable el desarrollo de la iniciativa (Vergara, 2010).

Principalmente, lo que distingue a ambos mecanismos es que para “*Quota Systems*”, la cantidad de generación deseada es políticamente determinada y el mercado determina el precio (Vergara, 2010). Aquí la responsabilidad de la generación queda exclusivamente a cargo de los privados, siendo el Estado sólo un ente fiscalizador. Por el contrario para “*Feed-in tariff*”, el precio es políticamente determinado (Vergara, 2010), y el Estado asegura que la energía producida por éstos, sea íntegramente comprada al precio establecido, como una política estatal de recompensa (USAID, 2009).

No cabe duda que cualquier aporte de ERNC a los sistemas energéticos nacionales, son una ayuda y benefician al medio ambiente, sin embargo el sistema “*Quota Systems*” coarta la inserción de nuevos actores al sistema eléctrico nacional, dejando miles de nuevas iniciativas energéticas a la deriva.

Comparativamente, la barrera impuesta por Chile a las que se consideran como PCH es relativamente alta, proyectos hasta 20 MW, siendo que en Europa la barrera no sobrepasa los 10 MW y en países baja hasta los 3 MW (ESHA, 1998). Esto puede explicarse en conjunto con la adaptación del mecanismo “*Quota Systems*”, ya que al estar diseñado para grandes generaciones de energía (20 MW) y donde la responsabilidad de la energía proveniente de ERNC queda exclusivamente en los privados, entonces, se puede pensar que para las grandes generadoras es más sencillo y económico instalar una sola vez una PCH de 20 MW que asegure el cumplimiento de las metas y normas establecidas por la ley de ERNC, que por el contrario, andar comprando energía a múltiples generadores pequeños, para cumplir la misma meta impuesta por la ley (que dicho sea de paso, contempla multas tan bajas que difícilmente contempla un reto comercial (USAID, 2009), y además, integrar nuevos actores a su propio negocio.

El autor, cree que sin lugar a dudas esta ley se promulgo bajos las expectativas, condiciones y “lobby” impuestas por los grandes consorcios de energía establecidos en el país, ya que de otra forma no se logra explicar ciertas decisiones que a ojos de conocedores del tema, son inexplicables.

La opción para países con altos potenciales de ERNC como Chile, no es tan solo contar con una cuota fija de energías en sentido estricto (ejemplo: 20 % de ERNC al 2020), sino más bien, buscar las fórmulas de diversificar y desarrollar al máximo las potencialidades que el territorio nacional posee.

Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, son instalaciones que dinamizan los territorios en los cuales se localizan, y explotan los recursos naturales que las distintas áreas geográficas de Chile poseen, por lo tanto, las PCH son actividades, que tal como dice Juan Ramón Cuadrado (1989) aprovechan los Potenciales de Desarrollo Endógeno que presentan los territorios del país.

La perspectiva medioambiental sustentable, de las Energías Renovables No Convencionales, son clara manifestación de la tendencia mundial que ha marcado notoriamente la agenda nacional e internacional de la primera década de siglo XXI. Estos conceptos tuvieron sus inicios formales con el informe Brutland (1982), pero su comisión, hacía ya años que acuñaba el concepto/idea de Desarrollo Sustentable.

Es necesario, mencionar los alcances, aclaraciones, inconvenientes y sugerencias que puedan aportar una mayor exactitud y prolijidad a los resultados y conclusiones obtenidas en el marco de esta investigación.

El presente estudio se refiere en el mejor de los casos, sólo a un estudio de prefactibilidad en base a criterios territoriales, físicos y técnicos, que han sido enfocados desde el punto de vista teórico y no práctico. En donde no ha sido posible por el alcance del estudio, llevar a cabo un análisis de cada uno de los sitios óptimos de localización propuestos anteriormente.

Por ende, se recomienda desarrollar estudios en profundidad y caso a caso de cada uno de los sitios propuestos para la instalación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, en función de las factibilidades técnicas, territoriales, físicas, ambientales y económicas que cada proyecto en particular presenta, con la asesoría de equipos multidisciplinarios que minimicen los riesgos y que maximicen los beneficios de cada sector.

Así mismo, se piensa que la investigación podría robustecerse con estudios más acabados de la hidrología del río Blanco, que amplíe y profundice aspectos que por el alcance de la investigación no fue posible realizar, tales como análisis horario, diario, semanal y mensual de los caudales del río, y mediciones de caudal con molinete en sus diferentes zonas.

Sin lugar a dudas la imposibilidad de contar con la información de las redes eléctricas del área de estudio (amperaje, potencia, calidad y tipo de red eléctrica), resta prolijidad al desarrollo del trabajo. La importancia de esta información es fundamental para determinar la necesidad de reforzar la red de energía, o eventualmente, construir una nueva, lo cual es altamente costoso (inviabile generalmente). No obstante, se decidió seguir adelante con el estudio, dándole énfasis a la proximidad de las redes con las distintas zonas del área de estudio.

A pesar de los inconvenientes manifestados, se cree que investigaciones como éstas constituyen un aporte hacia nuevos horizontes energéticos limpios, que ayudan a enriquecer la data y los conocimientos técnicos que se requieren para el crecimiento y desarrollo sustentable, que en definitiva busca Chile.

Lo anterior se manifiesta como expresión última de un cambio en la mentalidad de cada uno de nosotros, en donde el medio ambiente y los recursos naturales no sólo son considerados bienes o mercancías transables, sino más bien parte integrante del territorio que hay que proteger y cuidar, para el bien estar individual, colectivo y futuro de la humanidad.

## **XII. Bibliografía:**

- ALMONACID, ANA & NAHUELHUAL, LAURA, 2009. “Estimación del potencial eólico y costos de producción de energía eólica en la costa de Valdivia, Sur Chile.
- ARREGUI, OMAR, 2005. “Sostenibilidad y estudios de impacto ambiental”. Fundación Universitaria Católica del Norte.
- AVILA, RUTH, 2000. “Información sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible”. Informe técnico FAO.
- BARREDO, JOSE IGNACIO, 1996. “Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio”. Editorial RA-MA, Madrid, España.
- BECERRA, MAURICIO, 2010. “Las termoeléctricas envenenan Huasco”. Portal [www.elciudadano.cl](http://www.elciudadano.cl).
- BRUDTLAND, GRO 1987, “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future” ó “Informe Brudtland”, Informe socio-económico N° 42° de las Naciones Unidas (ONU).
- CAMARA ARGENTINA DE ENERGÍAS RENOVABLES, Elaborado por REGALY ALDO, julio 2008. “Cambio climático – Cambio de Matriz Energética. Cámara argentina de energía renovable”
- CUADRADO, JUAN RAMON, 1989. “Políticas Regionales: hacia un nuevo enfoque: en papeles de economía, n° 34, 1989”

- DECLARACION DE IMPACTO AMBIENTAL, Septiembre 2010, “Central de pasada Carilafquén – Malalcahuello”.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS, 2004. “Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, CUENCA DEL RÍO IMPERIAL”.
- DIRECCION GENERAL DE AGUAS, Agosto 1981. “DECRETO CON FUERZA DE LEY Número 1.122 (Código de aguas)”
- DORLING, DANNY, 2006. “Worldmapper Dataset 117: Electricity Production”, Publicado por SASI, University of Sheffield, <http://www.sheffield.ac.uk/sasi>.
- GHO, JAVIER, Diciembre 2009. “Micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas.” En Talleres regionales sobre Energías Renovables No Convencionales.
- GOMEZ OREA, DOMINGO, 2002. Ordenación del territorio.
- GONZALES, MARIA ISABEL, Octubre 2010, “Entrevista en revista InduAmbiente” Publicación Septiembre – Octubre 2010.
- GRIEM, WOLFWANG, 2008. “Apuntes de geología estructural”. Universidad de Atacama.
- GROTZ, CALUDIA, Junio 2010, “Expertos alemanes en ERNC en Chile, Las energías limpias son parte de la estrategia nacional” en Revista AreaMinera.
- HORMAZABAL, CRISTOBAL, 2006. “Evaluación multicriterio para pronosticar la distribución espacial de cobre en suelos agrícolas”. Tesis para



optar al grado de agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quillota.

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Mayo del 2000 “Implementing agreement for hydropower technologies and programmes” Anexo III: Hydropower and the environment: Present context and guidelines for future action. Subtask 5. Report Volume II.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA), Octubre del 2008, publicado por Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, “Promover las energías renovables por el mundo”.
- MOLINA, JAIME, 2004. “Mini Hidráulica”.
- MUGUERZA, DANIEL, 2008. “Micro Centrales Hidroeléctricas”.
- PONIACHIK, KAREN, 2007, “Licitación Internacional para la Exploración y Explotación de Hidrocarburos en la Cuenca de Magallanes”.
- PROCHILE IX REGIÓN, 2006. “Clúster exportadores regionales, IX región de la Araucanía”.
- PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INVESTIGACIONES EN ENERGÍA DEL INSTITUTO DE ASUNTOS PÚBLICOS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE & EL NUCLEO MILENEO DE ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y MACATRÓNICA CENTRO DE INNOVACIÓN EN ENERGÍA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA ARIA, Junio del 2008, “Aporte potencial de: Energías Renovables No Convencionales y Eficiencia Energética a la Matriz Eléctrica, 2008 – 2025”.

- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO y FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL, 2002. “Manuales de energías renovables, hidráulica a pequeñas escala”
- RAMIREZ, ANDRES, 2008. “El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz de temporal. Tesis doctorales de economía”.
- RIVERA, HUGO, Agosto 2001. “Aplicación de la evaluación multicriterio para la asignación de funciones al territorio de la reserva nacional Valdivia”.
- ROMAN, ROBERTO, Diciembre del 2009, “Soluciones con Energías Renovables No Convencionales”.
- RUDNICK, HUGH, Noviembre del 2006, “Seguridad Energética en Chile: Dilemas, Riegos y Oportunidades”
- SALDÍAS, HERNALDO y ULLOA HERNÁN, Mayo del 2008, “Evaluación comparativa de centrales de generación de energías renovables mediante la aplicación de la nueva ley de energías renovables recientemente aprobada en Chile
- SANHUEZA, GABRIEL, Mayo del 2008, “ “Energías renovables o energías obsoletas del siglo pasado”
- UNITED STATED AGENCY INTERNATIONAL DEVELOPMENT, 2009, “Producción limpia y energía renovable, elementos para la promoción de energía eólica en México”

- VERGARA, MIGUEL, 2010, “Leyes de Feed-In Tariff en el Mundo”. Seminario de Electrónica Industrial. Departamento de Electrónica Universidad Técnica Federico Santa María de Valparaíso.

**Sitios Web visitados:**

[www.amineria.com](http://www.amineria.com)

[www.bcn.cl](http://www.bcn.cl)

[www.cne.cl](http://www.cne.cl)

[www.ceprid.org](http://www.ceprid.org)

[www.corfo.cl](http://www.corfo.cl)

[www.dga.cl](http://www.dga.cl)

[www.ecodesarrollo.cl](http://www.ecodesarrollo.cl)

[www.gabrielortiz.com](http://www.gabrielortiz.com)

[www.revistaeai.cl](http://www.revistaeai.cl)

[www.terram.cl](http://www.terram.cl)

[www.seia.cl](http://www.seia.cl)

<http://web.ing.puc.cl/~power/alumno08/renewables/index.html>

[www.matrizenergetica.com.ar](http://www.matrizenergetica.com.ar)

<http://www.cer.gov.cl/recursos-para-las-renovables/fuentes/>

<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/srtm/>

<http://www.eia.doe.gov/oiaf/servicerpt/epp/psme.html>

[http://www.manitobawaterpower.com/future\\_developments/environmental\\_impacts.html](http://www.manitobawaterpower.com/future_developments/environmental_impacts.html)

[http://www.canhydropower.org/hydro\\_e/p\\_news\\_2.htm](http://www.canhydropower.org/hydro_e/p_news_2.htm)

<http://www.eia.doe.gov/oiaf/servicerpt/epp/index.html>

### XIII. ANEXOS:

Anexo N° 1: Caudales medio mensual, río Blanco en Curacautín:

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	6,266	26,521	26,124	25,663	22,522	17,449	14,55	11,201	10,006	6,842	6,464	4,163
10	4,743	21,647	23,413	22,557	19,633	15,436	13,419	10,343	8,806	5,756	5,871	3,601
20	3,456	16,566	20,35	19,116	16,62	13,337	12,049	9,304	7,495	4,668	5,153	3,016
50	2,05	9,15	15,11	13,508	12,069	10,167	9,43	7,317	5,367	3,128	3,779	2,132
85	1,298	3,621	9,625	8,267	8,027	7,351	6,204	4,871	3,307	1,91	2,088	1,347
95	1,092	1,838	6,835	5,963	6,193	6,074	4,309	3,434	2,329	1,43	1,094	0,99
Dist	L3	G2	L3	G2	G	G	N	N	L3	LG2	N	G

Fuente: Dirección General de Aguas, 2004.

Valores en expresados en metros cúbicos por segundo.

Explicación tabla caudales medios mensuales, río Blanco en Curacautín:

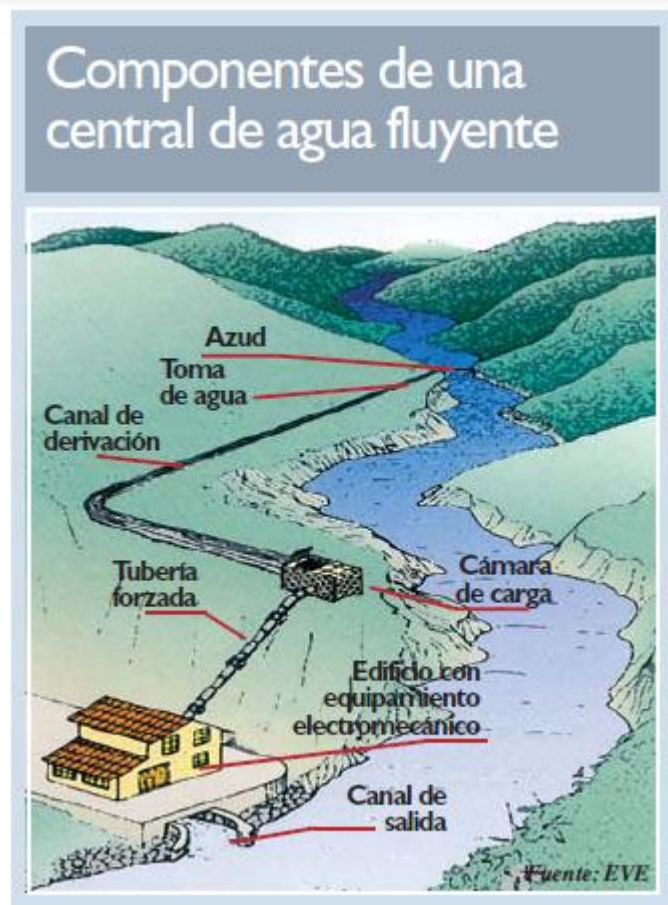
Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma de 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

Fuente: Dirección General de Aguas, 2004.

Anexo N° 2: Estación Fluviométrica Río Blanco, ubicada al Sudeste de la ciudad de Curacautín.

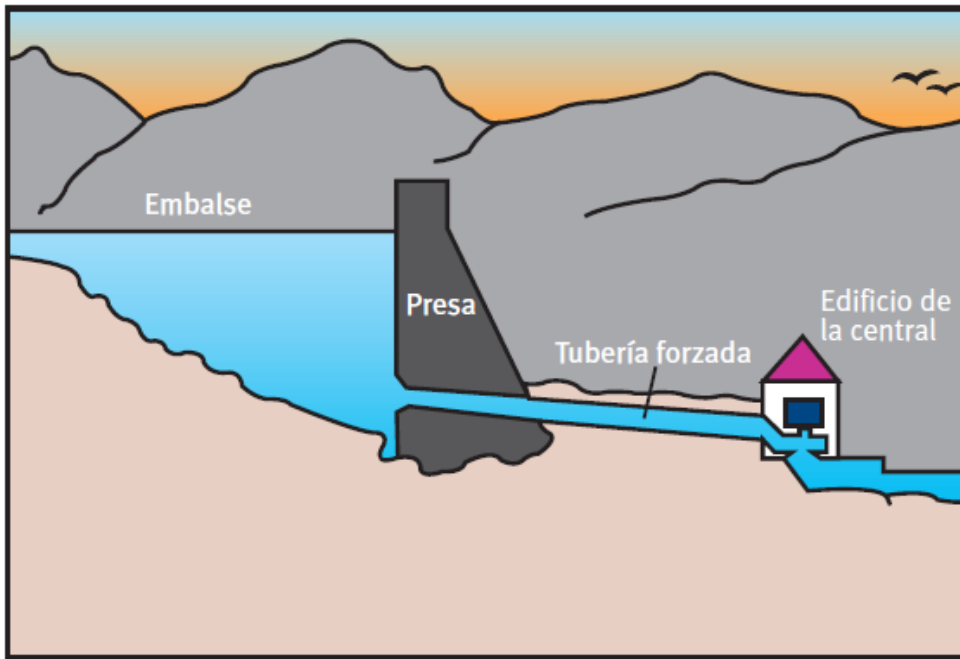


Anexo N° 3: Esquematización, Centrales de agua fluyente:



(Iberdrola, Soria energiarenovable para todos, 2008)

Anexo N° 4: Centrales de pie de presa



(Iberdrola, Soria energíarenovable para todos, 2008)



Anexo N° 5: Comparación del impacto ambiental de las diferentes formas de producir electricidad.

<b>COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS DIFERENTES FORMAS DE PRODUCIR ELECTRICIDAD (en Toneladas por GWh producido):</b>								
<b>FUENTE DE ENERGÍA</b>	<b>CO2</b>	<b>NO2</b>	<b>SO2</b>	<b>PARTÍCULAS</b>	<b>CO</b>	<b>HIDRO-CARBUROS</b>	<b>RESIDUOS NUCLEARES</b>	<b>TOTAL</b>
Carbón	1.058,2	2.986	2,971	1,626	0,267	0,102	-	1.066,1
Gas Natural (ciclo combinado)	824	0,251	0,336	1,176	TR	TR	-	825,8
Nuclear	8,6	0,034	0,029	0,003	0,018	0,001	3,641	12,3
Fotovoltaica	5,9	0,008	0,023	0,017	0,003	0,002	-	5,9
Biomasa	0	0,614	0,154	0,512	11,361	0,768	-	13,4
Geotérmica	56,8	TR	TR	TR	TR	TR	-	56,8
<b>Eólica</b>	<b>7,4</b>	<b>TR</b>	<b>TR</b>	<b>TR</b>	<b>TR</b>	<b>TR</b>	<b>-</b>	<b>7,4</b>
Solar Térmica	3,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	3,6
Hidráulica <sup>39</sup>	6,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	6,6,

Fuente: US Department of Energy, Council for Renewable Energy Education y AEDENAT, 2005.

TR= trazas. NOTA: Los valores de emisiones consideran también las emitidas durante el periodo de construcción.

<sup>39</sup> No hay distingo entre los tipos de generación hidráulica (pequeña, mediana y grande), por lo tanto las 6.6 toneladas de Dióxido de carbono emitidas por la fuente de energía hidráulica, corresponden principalmente a las grandes obras requeridas para construir represas, no teniendo punto alguno de comparación con la construcción de las centrales de pasada.

Anexo N° 6: Entrevista estructurada a expertos.

Criterios para la localización de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Cauces Naturales (PCH-CN):

A continuación se presentaran una seria de criterios de localización para PCH (entendidas en Chile por la Comisión Nacional de Energía (CNE) como todas aquellas centrales con una capacidad instalada máxima de 20 MW), elaborados en base a revisión bibliográfica y entrevistas semi-estructuradas realizadas a expertos en el tema.

En el estudio, los anteriormente nombrados criterios tendrán como fin diagnosticar la potencialidad del río Blanco en cuanto a sus cualidades físicas y naturales para la localización de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de pasada en la región de la Araucanía, comuna de Curacautín.

Dichos criterios fueron evaluados según su importancia por diversos expertos en el tema; para posteriormente ser integrados en un SIG, el cual represento de forma gráfica las mejores zonas de localización de PCH, según los juicios de valor, preferencias y experiencias de los distintos expertos consultados.

Esta tarea consistió en una comparación de valores subjetivos por pares (comparaciones binarias), es decir, el experto emitió juicios de valor sobre la importancia relativa de los criterios, de forma que refleje la dominación relativa, en términos de importancia, preferencia o probabilidad, de un elemento frente a otro, respecto de un atributo, bien u objetivo (Martinez, 2007).

La asignación de pesos o ponderación de los criterios se realizó mediante la escala de medidas Saaty, la cual oscila entre 1-9, donde el experto puede expresar sus preferencias entre dos elementos verbalmente y representar estas preferencias

descriptivas mediante valores numéricos. De esta forma cuando dos elementos sean igualmente preferidos o importantes el decisor asigno al par de elementos un «1»; moderadamente preferido se representa por «3», fuertemente preferido por «5», muy fuertemente preferido por «7» y extremadamente preferido por «9». Los números pares se utilizarón para expresar situaciones intermedias.

### ESCALA DE MEDIDAS DE SAATY

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

La forma en la que se asignaron los valores a cada uno de los criterios, es de Columna sobre Fila, resultando de así una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada *Matriz de comparaciones pareadas*, de forma que cada unos de sus componentes reflejen la intensidad de preferencia de un elemento frente a otro respecto del atributo considerado (Martinez, 2007).

**Tabla de criterios:**

Asignación de **valores**, importancia o preferencias entre dos criterios para la localización de PCH en un cauce natural, Columnas sobre Filas.

Ejemplo: **Columna A** sobre **Fila 2**,

**Pregunta:** ¿Cuanto más importante es el Q para la localización de PCH-CN que la pendiente?

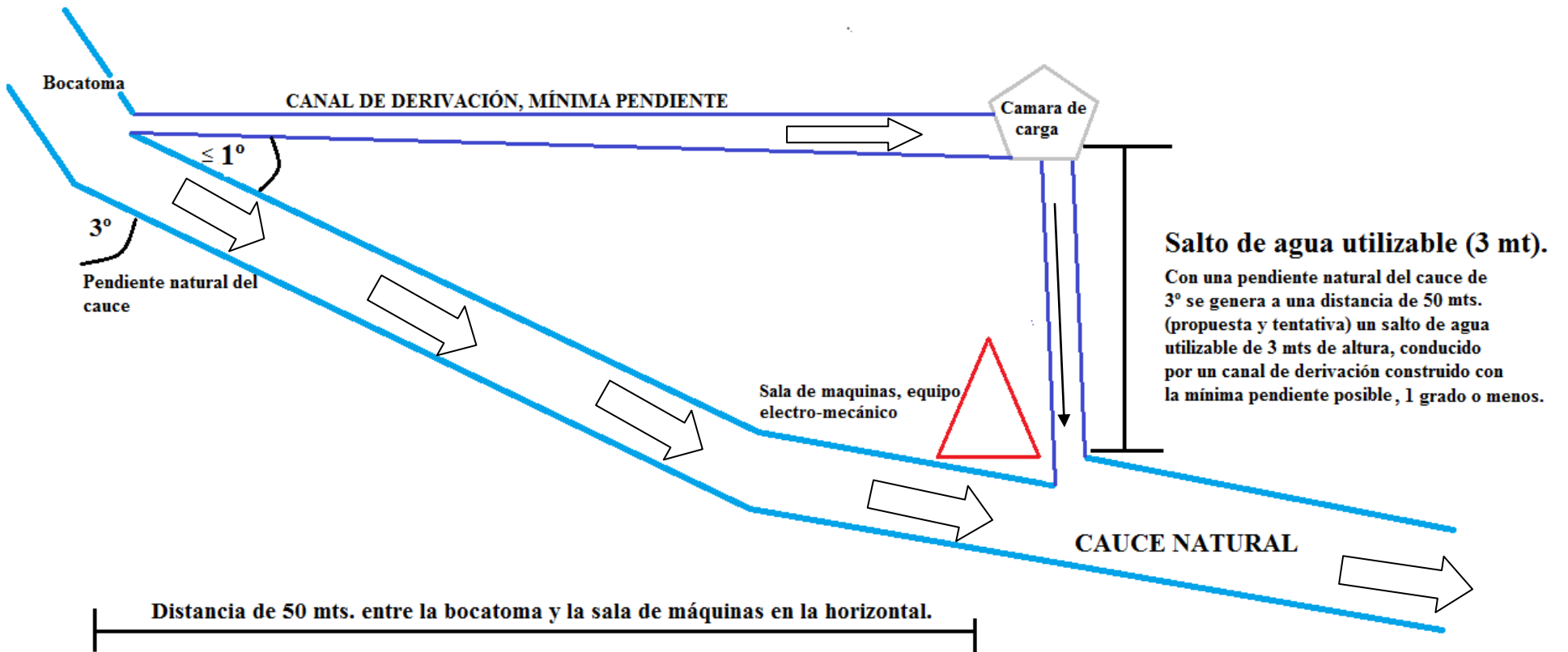
**Acción:** Según la escala de medidas Saaty, se responde de acuerdo a los conocimientos, experiencias y juicios personales de cada experto

**Respuesta:** «1», es decir, el caudal con la pendiente tienen una misma importancia para el cumplimiento del objetivo.

Criterios	Columnas	Caudal	Pendiente	Tipo de suelo	Uso de suelo	Distancia a red	Distancia camino
Fila 1	Caudal	1					
Fila 2	Pendiente (desnivel del salto de agua)		1				
Fila 3	Tipo de suelo			1			
Fila 4	Uso de suelo				1		
Fila 5	Distancia a la red eléctrica					1	
Fila 6	Distancia a vías de acceso						1

De ser alguno de los anteriores criterios irrelevantes a juicio del experto, cabe la posibilidad de corregirlos en su amplio sentido, ya sea como una precisión, corrección, eliminación o la incorporación de algún criterio que bajo su experiencia sea necesario incluirlo para lograr una mejor localización de una PCH en Cauce Natural.

Anexo N° 7: Esquematización Pequeña Central Hidroeléctrica, para cálculos y determinación de saltos de agua utilizable según las pendientes del cauce natural (río Blanco).



Anexo N° 8: Caudales medios mensuales, información oficial obtenida en la Dirección General de Aguas:

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS

FECHA EMISION INFORME 27/09/2010

**CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)**

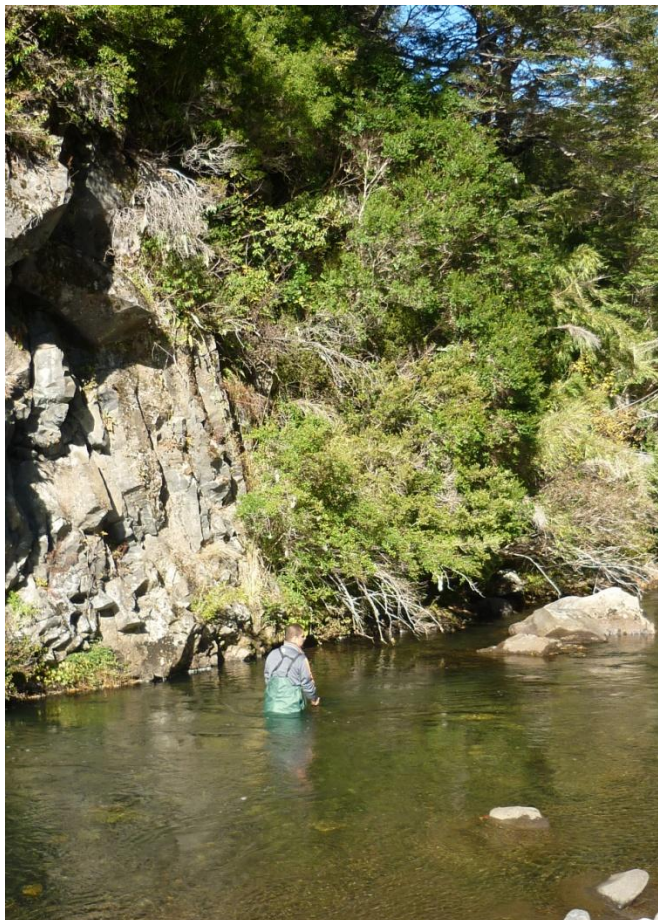
**PERIODO: 1986 - 2010**

Estación : RIO BLANCO EN CURACAUTIN  
Código BNA: 09122002-4 Latitud S 38 27 00 UTM Norte : 5740200 mts  
Altitud : 405 msnm Longitud ' 71 51 00 UTM Este : 249905 mts  
Cuenca : Rio Imperial SubCuenc Cautin Alto (hasta antes junta R. Quepe) Área de Drenaje: 180 km2

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1986	6,10 *	9,05	7,42	2,63	3,45	3,14	1,34	4,39	16,03	17,24	14,88	8,91
1987	9,52	6,40	4,22	4,06	3,90	2,78	1,65	2,77	11,21	8,85	12,87	7,54
1988	8,91	7,37	4,71	3,07	2,34	1,44	0,96	0,97	9,46	9,54	13,07	8,75
1989	7,52	4,15	9,87 %	2,75	2,21	1,72	1,80 @	7,89 %	15,35	5,64	12,36	13,99
1990	8,16	5,27	3,36	2,23	1,77	0,78	2,84 %	20,61	12,32	15,03	7,17	9,54
1991	5,29	3,63 %	7,48	4,20	2,51	2,29	5,12	23,67	23,58	10,39	5,64	9,99
1992	11,78	9,21	5,43	4,08 @							20,61 @	9,02
1993	6,58	6,75	9,17	2,84	2,58	1,87	2,32	6,53	18,07	18,66	8,28	13,11
1994	17,34	7,52	9,88	3,27	1,91	1,31	2,77	3,84	22,53	17,62	14,93	12,80
1995	9,16	5,90	2,61	0,70	0,28	1,04	3,29	6,56	10,22	4,09	6,48	7,89
1996	5,06	4,66	2,55	1,59	1,57	0,83	5,94	10,26	22,74	15,06	12,49	12,01
1997	11,05	9,23	5,06	2,47	1,70 @	0,99 @	1,22	1,71	2,70	4,90	4,92	4,02
1998	2,85	1,43	0,97	0,66	0,75	0,88 @	0,90 @	3,49	12,25	6,74	17,17	18,18
1999	7,14	4,66	3,03	1,58	4,57	2,64	1,63	2,29	20,59	17,52	10,86	14,54
2000	10,16	7,00	5,32	4,57	3,25	2,17	0,94	14,75	15,50	26,18	12,47	6,50
2001	4,93	3,72	2,84	2,45	3,14	4,18	5,14	8,70	8,78 @	10,57	16,16	13,57
2002	20,86	13,17	7,92	6,55	3,49	2,30	1,92	1,85	22,47	13,06	6,93	11,50 %
2003	9,53 @	7,41	7,20	3,82	5,89	3,61	6,53	2,86 %	16,10	16,32	6,04	9,91
2004	11,20	11,57	4,36	3,10	2,65	1,32	1,35	13,09	20,51	17,42	18,50	10,89
2005	6,10	10,47	9,22	6,37	5,21	2,07	3,46	5,88	22,42	23,00	13,06	12,83
2006	10,75	8,07	5,35	3,78	1,98	1,55	2,70	2,49	3,18	10,92	6,21	7,98
2007	9,56	6,30	3,17	2,58	1,65	1,86	1,32	8,34	8,84	11,72		
2008		4,99	3,39	2,43	1,93	0,99	2,86	12,60	10,58	13,22	16,38	10,74
2009	10,40	16,33	6,50	4,07								
2010												

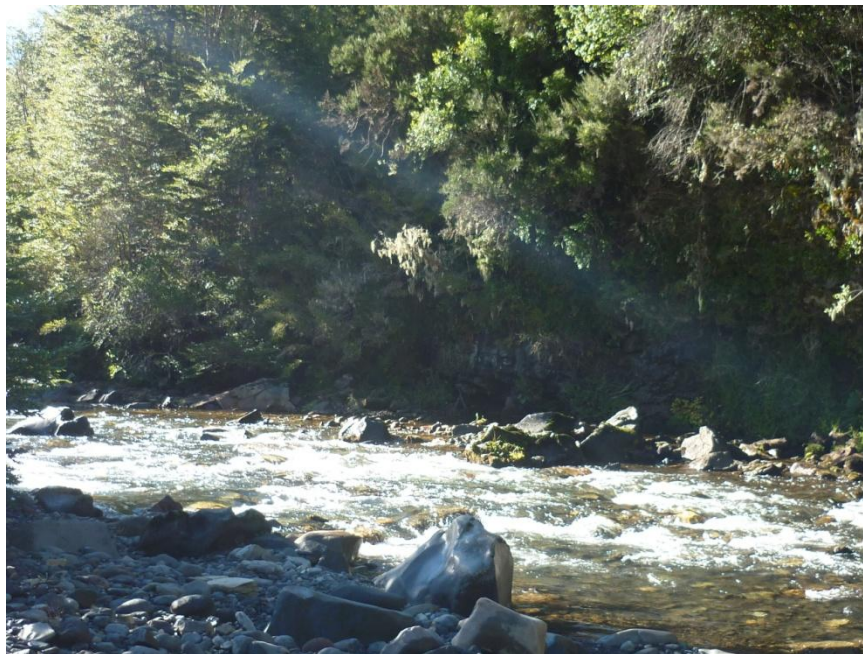
**INDICADORES MESES INCOMPLETOS:** \* : 1 - 10 Dias con Informacion en el Mes  
@ : 11 - 20 Dias con Informacion en el Mes  
% : Más de 20 Dias con Informacion en el Mes

Anexo N° 9: Medición de caudal parte media río Blanco, Aforo número 1.





Anexo N° 10: Imágen del cauce parte alta del río Blanco, aforo número 1.



Anexo N° 11: Imágen del cauce parte alta del río Blanco, aforo número 1.

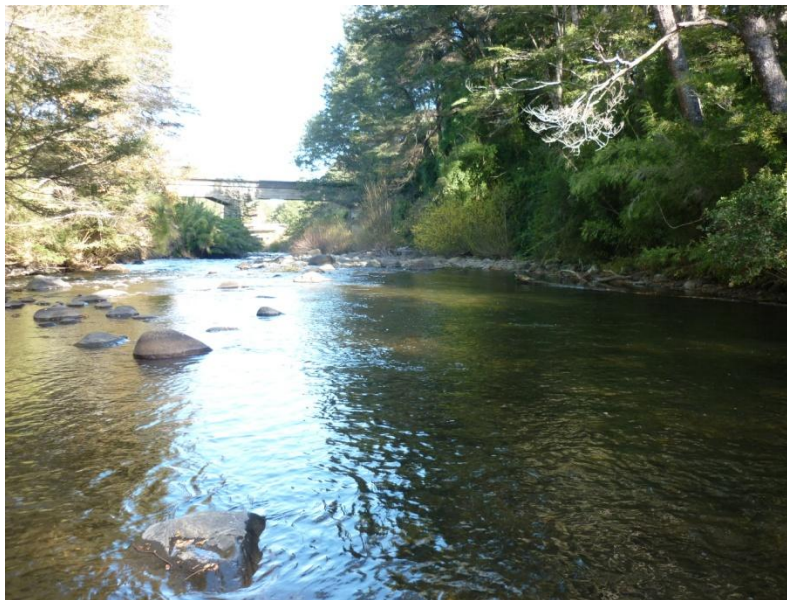




Anexo N° 12: Medición de caudal parte media río Blanco, Aforo número 2.



Anexo N° 13: Imágenes del cauce parte media del río Blanco, aforo número 2.



Anexo N° 14: Medición de pendientes en terreno con eclímetro, parte media río Blanco, aforo número 2:



Anexo N° 15: Medición de caudal parte baja río Blanco, Aforo número 3.



Anexo N° 16: Imagen del cauce en parte baja río Blanco, aforo número 3.





Anexo N° 17: Medición de pendientes en terreno con eclímetro, parte baja río Blanco, aforo número 3:

