



# **ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE MICROGENERACIÓN ASOCIADO A OBRAS DE RIEGO EN LAS REGIONES RESTO DEL MAULE Y BÍO-BÍO**

**INFORME FINAL**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**SANTIAGO, AGOSTO DE 2011**

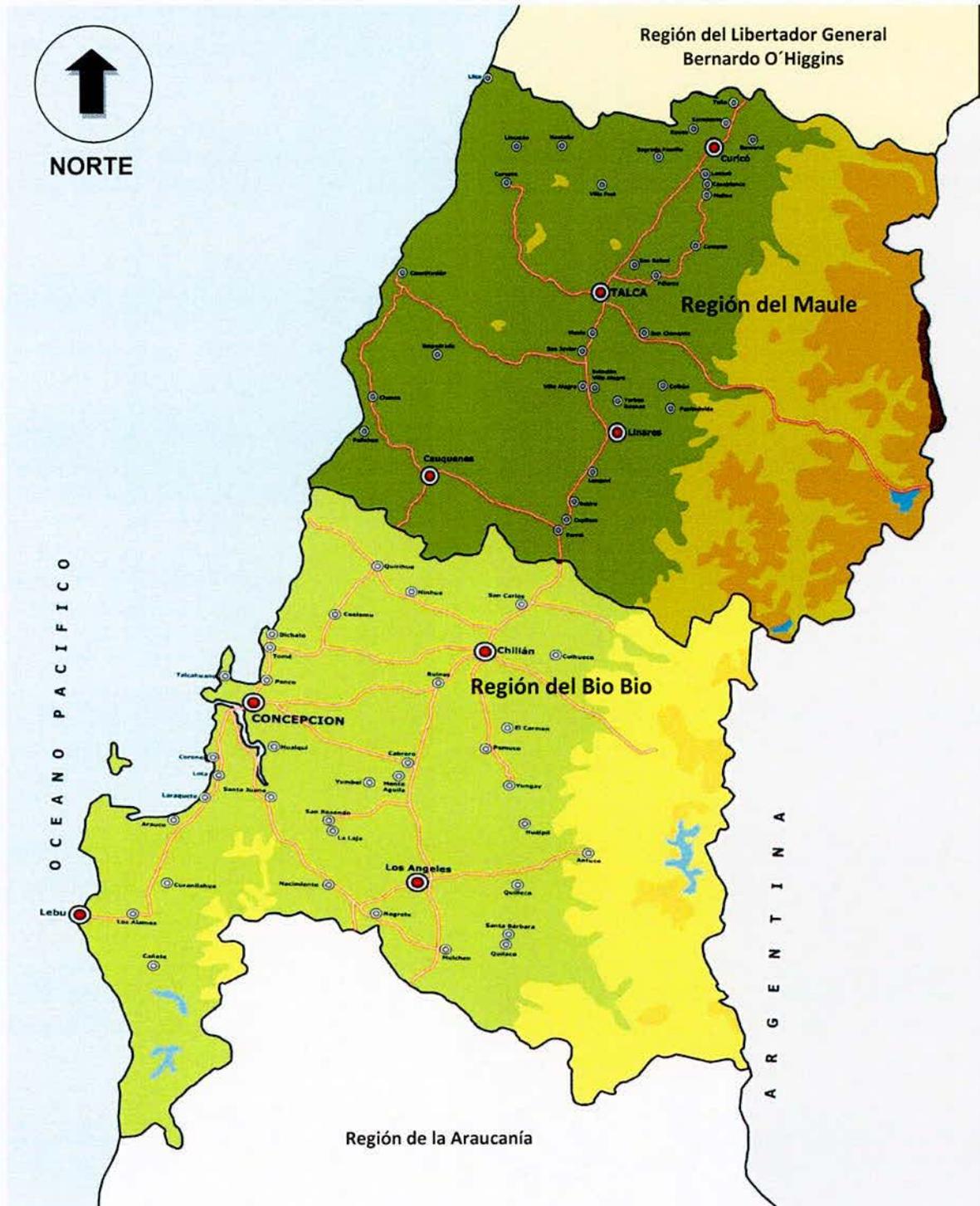
**PROCIVIL INGENIERIA LTDA.**

Dir: Av. 11 DE SEPTIEMBRE 1.480 OF. 82 PROVIDENCIA – SANTIAGO  
Fonos: 02-2358656 02-2360325 e-mail: [procivil@entelchile.net](mailto:procivil@entelchile.net) [www.procivil.cl](http://www.procivil.cl)

## ÍNDICE

1.-	Introducción . . . . .	1.-
1.1.-	Generalidades . . . . .	1.-
1.2.-	Objetivo general y objetivos específicos de la Consultoría. . . . .	2.-
1.3.-	Metodología General. . . . .	2.-
1.4.-	Comentarios Generales . . . . .	3.-
2.-	Recopilación resumida de información básica para determinación del potencial teórico en obras comunitarias de riego. . . . .	4.-
3.-	Metodologías desarrolladas para la estimación de potenciales teóricos y técnicos . . . . .	5.-
3.1.-	Unificación de criterios técnicos. . . . .	5.-
3.2.-	Definición de términos. . . . .	5.-
3.3.-	Metodología para estimación de potenciales de microgeneración . . . . .	6.-
3.4.-	Extrapolación del potencial de microgeneración a partir del desarrollo en la Región del Maule . . . . .	7.-
4.-	Estimación del potencial de microgeneración . . . . .	8.-
4.1.-	Resumen de potencial, energía generable y factores de planta calculados en primera aproximación en Región del Maule y río Chillán, Región del Bío-Bío . . . . .	8.-
4.2.-	Resumen de potencial extrapolado, energía generable y factores de planta a nivel nacional . . . . .	12.-
5.-	Conclusiones y comentarios finales . . . . .	14.-

MAPA GENERAL DE UBICACIÓN ZONA DEL ESTUDIO  
ESCALA 1 : 2.200.000



## 1.- Introducción.

### 1.1.- Generalidades.

Este estudio forma parte de una serie de investigaciones de los potenciales de microgeneración desarrolladas por el Ministerio de Energía en convenio con la Comisión Nacional de Riego, que se insertan en el grupo de las Energías Renovables No convencionales (ERNC). En dichos estudios ha quedado establecida la gran aptitud para la generación de las obras asociadas al riego. La materia del presente estudio complementa, actualiza y precisa los resultados de otros estudios anteriores, en especial del denominado: "Estimación del potencial de microgeneración asociado a obras de riego en las Regiones de O'Higgins y Maule- 2009", desarrollado por los mismos organismos ya señalados.

Hasta ahora el enfoque de estos estudios ha sido el aprovechamiento en generación, de los recursos hídricos de derechos consuntivos, sin afectar a la actividad del riego. Esta condición orienta la metodología empleada para determinar potenciales, que se ha mantenido en sus aspectos fundamentales en todos estos estudios, con un mismo criterio. A lo largo de estos estudios, la evaluación de este potencial específico se ha ido delineando con mayor precisión, desde una perspectiva netamente teórica hacia otros análisis de mayor profundidad, en aquellas regiones con mayores recursos hídricos y demanda de riego.

Como base de cálculo, en el presente estudio se adopta la Región del Maule, cuyos resultados parametrizados y globalizados, se extrapolan al resto de las regiones en que existen obras comunitarias de riego con aptitud para la generación, desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de la Araucanía. El resultado entrega un potencial teórico de 448 Mw de microgeneración asociada al riego en las once regiones señaladas; con este potencial podrían generarse unos 2.911 Gwh de energía en un año de hidrología normal, con un factor de planta de 0,78. Este resultado es levemente menor que el obtenido en el estudio anterior sobre microgeneración, por extrapolación a partir de la Región de O'Higgins. Las diferencias se encuentran principalmente en aspectos de hidrología de las cuencas específicas, y en el cálculo detallado en la Región del Maule con la extrapolación hacia las regiones del sur, especialmente la Región del Bío-Bío.

En el estudio se considera también la evaluación específica y detallada de una muestra representativa de la Región del Bío-Bío, en la cual se adoptó la subcuenca del río Ñuble y, específicamente, el río Chillán. Los resultados obtenidos se extrapolan a toda esa Región. Este análisis permite comparar los procedimientos de cálculo, en que para este caso particular se obtienen resultados similares, validando así el método general de extrapolación desde la Región del Maule hacia el Bío-Bío. Sin embargo el resultado presenta algunas diferencias de la extrapolación desde la Región de O'Higgins.

En la medida que se detalla la investigación, adquieren importancia las evaluaciones específicas de potenciales en otras regiones alejadas del Maule y que desde su situación propia también reúnen las características necesarias para aportar su potencial, ubicadas entre la Región de Coquimbo y la Región Metropolitana, aparte de una evaluación específica para la misma Región del Bío-Bío.

## 1.2.- Objetivo general y objetivos específicos de la Consultoría.

El objetivo general del presente estudio es: "Complementar el catastro de potencial hidroeléctrico menor a 2Mw asociado a obras de riego existentes o en proyecto, en las Regiones del Maule y Bío-Bío y actualizar la estimación general a nivel nacional".

Enmarcado en el objetivo general, se desarrollan las actividades para el cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos que se indican a continuación:

Objetivo específico N°1: "Complementar y actualizar la evaluación del potencial de generación con centrales hidroeléctricas pequeñas asociadas a obras existentes o en proyectos de riego para la Región del Maule".

Objetivo específico N°2: "Contar con una estimación del potencial con centrales hidroeléctricas pequeñas asociadas a obras de riego para la Región del Bío-Bío".

Objetivo específico N°3: "Actualizar la estimación general a nivel nacional, del potencial de generación con centrales menores de 2Mw, extrapolado a partir de los resultados obtenidos de acuerdo a las metodologías desarrolladas y mejoradas para las regiones indicadas precedentemente".

## 1.3.- Metodología General.

La metodología para el cálculo de los potenciales de microgeneración es la misma utilizada en el estudio anterior: "Estimación del Potencial de Microgeneración Asociado a Obras de Riego en las Regiones de O'Higgins y Maule". CNE-CNR 2009; Procivil Ing. Ltda. En el Capítulo N°3 de este informe ejecutivo, se entregan los elementos metodológicos principales empleados en el estudio.

Para el cálculo detallado de los micropotenciales, se diferencian los casos típicos a analizar de acuerdo al tipo de obras de riego existentes o en proyecto, canales y embalses, y mediante la unificación masiva de bocatomas. Este cálculo se aplicó a la Región del Maule y al Río Chillán, en la Región del Bío-Bío.

Para estimar el potencial de microgeneración de las regiones que no han sido objeto de estudio detallado de potencial de microgeneración, se utiliza la metodología desarrollada de extrapolación a partir de los resultados obtenidos en la región base, Maule. Si bien esta metodología puede entregar algunas indicaciones sobre el posible potencial de cada región, se requiere un análisis particular región por región, o cuenca por cuenca debido a las grandes variaciones que experimenta el rendimiento hídrico y demás características agroclimáticas a lo largo del país.

#### 1.4.- Comentarios Generales.

Dado que los objetivos de la Consultoría permiten ampliar y perfeccionar los resultados de potenciales obtenidos en los estudios anteriores, se han introducido elementos que son destacables como alternativas de generación asociada al riego, las cuales se señalan someramente y se explican en los Capítulos de este informe. Estas alternativas que se plantean, se relacionan de alguna forma con la optimización de las potencias de generación y con la introducción del mercado del agua; además de algunas aclaraciones a la actual legislación para facilitar su concreción y que requerirían de una mayor jurisprudencia.

a).- Regulación corta con embalse de cabecera en los canales aptos, añadiendo contraembalse.

Esta alternativa es de sumo interés para mejorar en futuras etapas de estudio, las evaluaciones de potencias y las factibilidades de dichas centrales, al posibilitar el aumento de generación en horas de mayor demanda eléctrica, especialmente en los meses de invierno.

b).- Descarga de invierno desde el canal matriz hacia el cauce natural desde donde se extraen los derechos, en los meses invernales, de menor riego.

Esta alternativa se relaciona con el máximo aprovechamiento de los derechos consuntivos de agua, agrupados en los canales, durante los meses de invierno. Asimismo se relaciona con el tema del mercado del agua, ya que durante el invierno el uso que los accionistas pueden dar a sus derechos es distinto al riego, lo que facilitaría su empleo por parte de una empresa generadora en las obras comuneras extraprediales. Por otra parte la descarga desde el canal matriz comunero al río, posibilita el reuso de esas aguas por parte de otros canales ubicados más abajo, mejorando la dotación accionaria del río, que en invierno suele bajar; esto impacta positivamente en la generación de otros canales con un aumento de sus potenciales. En este Informe, sólo se ha considerado la dotación accionaria que entrega el caudal disponible según el número total de acciones en que se reparte cada Sección de río, lo cual constituye una hipótesis conservadora para los efectos de la evaluación de potenciales, considerando además que se está trabajando con generación asociada al riego y la legislación vigente.

c).- Análisis globalizados de potencias menores a 2 Mw.

Se incluye todos los casos no analizados en el estudio CNE-2007, en que se diferencian los análisis de casos específicos y los análisis globalizados para potenciales inferiores a 2 Mw, los cuales son muy numerosos.

2.- Recopilación resumida de información básica para determinación del potencial teórico en obras comunitarias de riego.

Dada la amplitud de fuentes de información, se han referenciado las de mayor interés, entre las cuales se recopilieron los antecedentes básicos para determinar el potencial de microgeneración en obras de riego; estos se señalan a continuación:

- i) "Estimación del Potencial Hidroeléctrico Asociado a Obras de Riego Existentes ó en Proyecto". CNE-CNR 2007; Procivil Ingeniería Ltda.
- ii) "Estimación del Potencial de Microgeneración Asociado a Obras de Riego en las Regiones de O'Higgins y Maule". CNE-CNR 2009; Procivil Ingeniería Ltda.
- iii) Levantamiento de bocatomas en cauces naturales – DGA.
- iv) Bases de datos del proyecto E-SIIR, CNR.
- v) Registro de canales de gran capacidad DOH.
- vi) Usuarios del agua, según Catastros DGA.
- vii) Embalses destinados a riego, DOH.
- viii) Cartografía IGM a escala 1:50.000.
- ix) Cartografía CNR a escala 1:10.000, en algunos valles.
- x) Google Earth.
- xi) Hidrología de cuencas según estudios DGA y CNR.
- xii) Estudios y proyectos públicos CNR y DOH de cuencas, canales y embalses.
- xiii) Estudios y proyectos particulares de cuencas, canales y embalses en algunos valles.
- xiv) Informes y estudios del Ministerio de Agricultura.
- xv) Estudios técnicos consultados en CNE, CNR, CIREN, MOP, DOH, DGA.

### 3.- Metodologías desarrolladas para la estimación de potenciales teóricos y técnicos

#### 3.1.- Unificación de criterios técnicos.

Las metodologías utilizadas son aquellas propuestas en el estudio ya realizado "Estimación del Potencial de Microgeneración Asociado a Obras de riego en las Regiones de O'Higgins y Maule - 2009" y que se presenta resumido a continuación. La utilización de la metodología ya desarrollada y empleada para las anteriores consultorías para la CNR y el Ministerio de Energía, permiten tener un solo criterio técnico de evaluación de potenciales para todos estos estudios.

#### 3.2.- Definición de términos.

- a) Potencial teórico o instalable: Es el potencial de generación hidroeléctrico y se puede calcular utilizando la relación  $P[kw] = 8,2 \cdot Q_o [m^3/s] \cdot \Delta h[m]$ , donde  $Q_o$  es el caudal y, corresponde a la capacidad de los canales que se analizan, que tiene relación con el caudal del año hidrológico 50%;  $\Delta h$  es la caída bruta medida entre el inicio del tramo utilizable para generar y el final de éste; y el valor 8,2 que corresponde a la ponderación entre una eficiencia globalizada de un 85% en la generación y la aceleración de gravedad "g".
- b) Potencial extrapolado teórico: Es el potencial obtenido mediante la extrapolación de resultados desde una cuenca o región con estos valores determinados, a otra cuenca o regiones, mediante el empleo de relaciones desarrolladas entre: potenciales, caudales y superficies de riego.
- c) Energía: La energía que la central produciría eventualmente en un período T [horas] se puede calcular como  $Energia[kwh] = P[kw] \times T[horas]$ . La máxima energía que la central podría generar teóricamente, corresponde a su funcionamiento durante 360 días x 24 horas, es decir, 8.640 horas/año como tiempo de generación. Lo anterior considera un período de mantenimiento mínimo de 5 días (120 horas).
- d) Factor de Planta: se estima como el cociente entre la energía producida efectivamente en todo el período de evaluación y la energía que la central produciría en el mismo período funcionando a plena capacidad.

### 3.3.- Metodología para estimación de potenciales de microgeneración

La metodología para la estimación de potenciales se presenta resumida en el Cuadro N°3.3-1.

**CUADRO N°3.3-1  
RESUMEN METODOLÓGICO PARA ESTIMACIÓN DE  
POTENCIALES DE MICROGENERACIÓN**

Tipo de agrupación	Caso típico	Caudal turbinable para generación $Q_0$ [m <sup>3</sup> /s]	Desnivel bruto $\Delta h$ [m]
Generación en canales, empleando los derechos de agua correspondiente a cada organización individual.	Generación al interior de un canal con tramo inicial con fuerte pendiente ó tramos con caídas	El caudal de generación se define en este caso como la capacidad en bocatoma del canal, el cual se estima por información directa, por derecho o por demanda hídrica de la superficie regada. Debe ser superior a 1m <sup>3</sup> /s (hasta mínimo de 0,8m <sup>3</sup> /s). En caso de que el caudal sea menor, el Potencial se analiza con otro procedimiento, del tipo colectivo mediante unificaciones de bocatomas	Desnivel bruto estimado entre la bocatoma y un punto en el canal a los 2,5 km y hasta 5 km. Según la longitud total del canal matriz mayor a 5 km (Longitud promedio: 4 km)
	Generación con caudal remanente al final de los canales matrices analizados	El caudal remanente que escurre al final de 2,5km ó 5km desde la Bocatoma según el caso, permite generar antes de regar. Este caudal es calculado proporcional al largo del canal.	Desnivel bruto estimado entre km 2,5 ó km 5 y el final del canal matriz
	Generación con aprovechamiento de una eventual descarga al río durante los meses de invierno (*)	Aprovechamiento de derechos consuntivos durante el invierno. El caudal es el correspondiente a las acciones del canal y sus derechos consuntivos, conforme a la hidrología de caudales medios mensuales en el cauce natural y truncados a la capacidad en bocatoma. Se consideran aptos aquellos canales que corren en forma paralela al cauce natural y que su distancia a él no supere 1 km	Desnivel bruto estimado entre el cauce natural y un punto del canal en el cual se impondrá una caída de descarga
Generación en embalses. Embalses para regulación estacional con capacidad sobre 100.000m <sup>3</sup>	Generación al pie del embalse	Caudal máximo que entrega el embalse, por información directa o estimada por derecho o por demanda hídrica de superficie servida	Diferencia de cotas entre el espejo de aguas del embalse y el pie de la presa
	Generación aguas abajo del muro de presa	Caudal máximo que entrega el embalse, por información directa o estimada por derecho o por demanda hídrica de superficie servida	Diferencia de cotas entre el espejo de aguas del embalse y un punto aguas abajo interesante para generación
Unificaciones masivas de bocatomas de canales	Generación en unificación de canales en cauce con organización	El caudal para generación corresponde a la suma de los caudales estimados según distribución accionaria, de los canales que participan en la unificación y que además tienen su bocatoma ubicada aguas abajo del punto de generación. En invierno se considera además la suma del 70% de los caudales que se extraen entre la bocatoma y el punto de generación	Desnivel bruto estimado entre la bocatoma unificada y el punto de generación a nivel del cauce natural
	Generación en unificación de canales en cauce sin antecedentes de su organización	El caudal para generación es estimado a partir de la demanda hídrica de la superficie de riego de los canales con bocatoma aguas abajo del punto de generación. En invierno se considera además la suma del 70% de los caudales que se extraen entre la bocatoma unificada y el punto de generación	Desnivel bruto estimado entre la bocatoma unificada y un punto en el cauce natural a los 2,5 km aguas abajo

Nota: P: potencial; L: Longitud; BT: bocatoma

(\*)El potencial teórico estimado se considera alternativo y eventual, por lo que no se ha sumado al potencial de carácter permanente del resto de los casos analizados.

### 3.4.- Extrapolación del potencial de microgeneración a partir del desarrollo en la Región del Maule.

La metodología de extrapolación de potenciales de microgeneración implica realizar una zonificación de las diferentes cuencas en análisis, esto es, identificar las zonas altas, con pendiente sobre 1,5%, zonas medias, con pendientes entre 0,5% y 1,5% y zonas bajas, con pendientes menores a 0,5%. Además, se hace una distinción geográfica, que tiene relación con la manera en que se distribuye el recurso hídrico. Desde la Región Metropolitana hacia el Norte, donde el recurso es escaso, la extrapolación se realiza a través de los rendimientos hídricos de las cuencas. Hacia el sur, donde hay abundancia de recursos hídricos, la extrapolación se realiza a través de la demanda hídrica.

4.- Estimación del potencial de microgeneración.

4.1.- Resumen de potencial de microgeneración, energía generable y factores de planta calculados en primera aproximación en Región del Maule y río Chillán, Región del Bío-Bío.

- Región del Maule

En el Cuadro N°4.1-1 se presenta un resumen del potencial calculado para cada uno de los casos analizados. Estos casos presentan información de caudal en los catastros analizados. Además se presenta el cálculo de la energía y del factor de planta.

**CUADRO N°4.1-1**  
**RESUMEN DE ENERGÍA GENERABLE Y FACTORES DE PLANTA EN PRIMERA APROXIMACIÓN**  
**CONSIDERANDO CASOS DE MAYOR FACTIBILIDAD TÉCNICA**  
**(ESPECIALMENTE UNIFICACIONES DE CAUDALES MENORES A 0,8m<sup>3</sup>/s)**  
**CASOS CATASTRADOS EN LA REGIÓN DEL MAULE**

CASO TÍPICO	N° DE CASOS	POTENCIAL INICIAL (1)				POTENCIAL REMANENTE (2)			
		POT. INIC. kw	ENERG. MÁX. ANUAL Gwh	ESTIM. ENERG. ANUAL GENER. Gwh	FACTOR DE PLANTA ESTIM.	POT. INIC. kw	ENERG. MÁX. ANUAL Gwh	ESTIM. ENERG. ANUAL GENER. Gwh	FACTOR DE PLANTA ESTIM.
Canales en forma individual	68	13.137	113,5	96,9	0,85	6.819	58,9	49,6	0,84
Unificaciones masivas de canales	24	2.230	19,3	15,7	0,81				
Embalses inferiores a 3hm <sup>3</sup>	38	5.203	45	3,7	0,08				
<b>Total catastrado</b>	<b>130</b>	<b>20.570</b>	<b>177,8</b>	<b>116,3</b>	<b>0,65</b>	<b>6.819</b>	<b>58,9</b>	<b>49,6</b>	<b>0,84</b>

CASO TÍPICO	N° DE CASOS	POTENCIAL TOTAL = POTENCIAL INICIAL (1) + POTENCIAL REMANENTE (2)			
		POT. INIC. kw	ENERG. MÁX. ANUAL Gwh	ESTIM. ENERG. ANUAL GENER. Gwh	FACTOR DE PLANTA ESTIM.
Canales en forma individual	68	19.956	172,4	146,6	0,85
Unificaciones masivas de canales	24	2.230	19,3	15,7	0,81
Embalses inferiores a 3hm <sup>3</sup>	38	5.203	45	3,7	0,08
<b>Total catastrado</b>	<b>130</b>	<b>27.389</b>	<b>236,7</b>	<b>166</b>	<b>0,7</b>

Notas: 1.- La estimación de la máxima energía generable considera la producción de energía durante 8.640 horas anuales.  
 2.- La energía anual generable considera ajuste según distribución hidrológica mes a mes.  
 3.- La estimación de la energía generable en los embalses considera 8 horas diarias durante la temporada de riego de 3 meses, es decir: 8x30x3 = 720 horas/año.  
 4.- Potencia inicial: calculada en los primeros 2,5km ó 5 km según corresponda a la longitud del canal  
 5.- Potencial remanente: calculado desde los 2,5km ó 5 km hasta el término del canal

Debido a la escasez de información completa sobre caudal, acciones y trazado de muchos de los canales con capacidad menor a 4m<sup>3</sup>/s en la Región del Maule, se planteó una forma de cálculo para estos casos en que no se dispone de su caudal ni su trazado, aun cuando los canales están identificados.

El procedimiento es técnicamente posible mediante un balance de caudal, entre el total ó máximo requerido, para regar en un año normal toda la superficie de riego de cada cuenca de estas regiones, y el caudal efectivamente determinado en los Catastros de

8.-

Bocatomas de la DGA, que se encuentran aforados. De esta forma, la diferencia entre estos dos caudales en cada cuenca, corresponde a la capacidad conjunta de canales que están identificados pero sin la información específica de caudal, trazado y superficie que riegan. El caudal total o máximo por cuenca se determina indirectamente, a través de la demanda hídrica de riego para toda la superficie extraída del Censo Agrícola INE 2007, aplicando las tasas del mes de máxima demanda que entregan estudios públicos de detalle elaborados por la DGA, en su "Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile, Vol.2; 1996". Con dichas tasas máximas, según se indicó, se obtiene la capacidad total de los canales señalados en su conjunto.

De acuerdo a antecedentes extraídos desde el Censo 2007, se indica la superficie y los caudales por cuenca, los que se presentan en el Cuadro N°4.1-2.

**CUADRO N°4.1-2  
RESUMEN DE SUPERFICIE REGADA Y ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA MÁXIMA  
REGIÓN DEL MAULE**

CUENCA	TASA MÁXIMA DE RIEGO [l/s/ha]	TOTAL POR CUENCA		TOTAL REGIÓN DEL MAULE	
		SUPERFICIE REGADA POR CUENCA SEGÚN CENSO 2007 [Há]	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA MÁXIMA DE LA SUPERFICIE REGADA EN BOCATOMA [m³/s]	SUPERFICIE REGADA EN LA REGIÓN [Há]	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA MÁXIMA DE LA SUPERFICIE REGADA EN BOCATOMA [m³/s]
Mataquito	2,92	71.018	207	298.749	879
Maule	2,95	227.731	672		

Fuente: 1) Censo Agrícola y Ganadero, INE. 2007.  
2) Análisis uso actual y futuro de los recursos hídricos de Chile, Vol 2 DGA 1996.

De acuerdo a lo anterior, se estima el potencial para los casos que no disponen de información específica de caudal, acciones y/o trazados.

En el Cuadro N°4.1-3 se presenta un resumen de los casos analizados de canales por cuenca y el caudal asociado. La información incluye los resultados detallados obtenidos para el Río Lontué en el estudio CNR-CNE 2009.

**CUADRO N°4.1-3  
RESUMEN DE CASOS ANALIZADOS INDIVIDUALMENTE POR CUENCA  
CON TODA LA INFORMACIÓN DISPONIBLE DE CAUDAL Y TRAZADO  
REGIÓN DEL MAULE**

CUENCA	Nº CASOS	CAUDAL (m3/s)
Mataquito	149	152
Maule	492	126
Total	641	278

Nota: el número de casos analizados corresponde al total de los casos catastrados más los casos analizados en el río Lontué en el estudio CNR-CNE 2009. Este valor es mayor que el indicado en el Cuadro N°4.1-1 debido principalmente a aquellos casos catastrados en que no era factible técnicamente la unificación masiva de bocatomas según la metodología indicada.

Para obtener el caudal de los casos sin información de caudal se calcula la diferencia entre los casos analizados individualmente y el total de cada cuenca.

En el Cuadro N°4.1-4 se indica el número total y el caudal por cuenca de aquellos casos sin información específica de caudal incluidos en los catastros de canales para la Región del Maule.

**CUADRO N°4.1-4  
RESUMEN DE CASOS SIN INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE CAUDAL POR CUENCA  
REGIÓN DEL MAULE**

CUENCA	N° CASOS	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
Mataquito	113	56
Maule	681	546
Total	794	601

Nota: el caudal se obtiene al hacer la diferencia entre los casos catastrados y analizados y el total de cada cuenca.

Para la estimación de este último potencial, se correlaciona el caudal total de casos analizados, con el caudal de los casos sin información específica de caudal. Esta correlación permite completar la estimación del potencial para cada cuenca. Lo anterior se presenta en los Cuadros N°4.1-5 y N°4.1-6.

**CUADRO N°4.1-5  
POTENCIAL CALCULADO PARA CASOS ANALIZADOS INDIVIDUALMENTE  
REGIÓN DEL MAULE**

CUENCA	POTENCIA INICIAL [Kw]	POTENCIA REMANENTE [Kw]	POTENCIA TOTAL [Kw]
Mataquito	16.909	8.828	25.737
Maule	13.039	4.326	17.364
Total	29.948	13.154	43.101

Nota: estos datos incluyen los resultados calculados para la subcuenca del río Lontué, que fueron presentados detalladamente en el estudio CNR-CNE 2009.

**CUADRO N°4.1-6  
POTENCIAL ESTIMADO PARA CASOS SIN INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE CAUDAL  
REGIÓN DEL MAULE**

CUENCA	POTENCIA INICIAL [Kw]	POTENCIA REMANENTE [Kw]	POTENCIA TOTAL [Kw]
Mataquito	6.179	3.226	9.406
Maule	56.555	18.763	75.318
Total	62.734	21.989	84.723

Finalmente, se presenta el Cuadro N°4.1-7, que indica el potencial total para la Región por cuenca, que incluye los casos analizados individualmente y los casos sin datos específicos de caudal.

**CUADRO N°4.1-7  
POTENCIAL ESTIMADO TOTAL  
REGIÓN DEL MAULE**

CUENCA	POTENCIA INICIAL [Kw]	POTENCIA REMANENTE [Kw]	POTENCIA TOTAL [Kw]
Mataquito	23.088	12.054	35.142
Maule	69.594	23.088	92.682
Total	92.682	35.142	127.825

Al valor obtenido en el Cuadro N°4.1-7 anterior, se le suma lo obtenido para los embalses destinados al riego, calculado en 5.203 kw, lo que entrega un valor total para la Región del Maule de 133 Mw en microgeneración.

- Río Chillán, Región del Bío-Bío.

En el Cuadro N°4.1-8 se presenta un resumen del potencial calculado para cada uno de los casos catastrados que presentan información de caudal. Además se presenta el cálculo de la energía y del factor de planta.

**CUADRO N°4.1-8  
RESUMEN DE ENERGÍA GENERABLE Y FACTORES DE PLANTA EN PRIMERA APROXIMACIÓN  
CASOS CATASTRADOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHILLÁN - REGIÓN DEL BÍO-BÍO**

CASO TÍPICO	N° DE CASOS	POTENCIAL INICIAL (1)				POTENCIAL REMANENTE (2)			
		POT. INIC. kw	ENERG. MÁX. ANUAL Gwh	ESTIM. ENERG ANUAL GENER. Gwh	FACTOR DE PLANTA ESTIM.	POT. INIC. kw	ENERG. MÁX. ANUAL Gwh	ESTIM. ENERG ANUAL GENER. Gwh	FACTOR DE PLANTA ESTIM.
Canales en forma individual	4	298	2,57	2,43	0,94	983	8,49	8,01	0,94
Unificaciones masivas de canales	14	455	3,93	3,71	0,94				
Embalses inferiores a 3Hm³	6	7	0,005	0,06	0,08				
<b>Total catastrado</b>	<b>24</b>	<b>760</b>	<b>6,56</b>	<b>6,14</b>	<b>0,94</b>	<b>983</b>	<b>8,49</b>	<b>8,01</b>	<b>0,94</b>

CASO TÍPICO	N° DE CASOS	POTENCIAL TOTAL = POTENCIAL INICIAL (1) + POTENCIAL REMANENTE (2)			
		POT. INIC. kw	ENERG. MÁX. ANUAL Gwh	ESTIM. ENERG ANUAL GENER. Gwh	FACTOR DE PLANTA ESTIM.
Canales en forma individual	4	1.281	11,06	10,44	0,94
Unificaciones masivas de canales	14	455	3,93	3,71	0,94
Embalses inferiores a 3Hm³	6	7	0,005	0,06	0,08
<b>Total catastrado</b>	<b>24</b>	<b>1.743</b>	<b>14,99</b>	<b>14,21</b>	<b>0,94</b>

- Notas: 1.- La estimación de la máxima energía generable considera la producción de energía durante 8.640 horas anuales.  
 2.- La energía anual generable considera ajuste según distribución hidrológica mes a mes.  
 3.- La estimación de la energía generable en los embalses considera 8 horas diarias durante la temporada de riego de 3 meses, es decir: 8x30x3 = 720 horas/año  
 4.- Potencia inicial: calculada en los primeros 2,5km ó 5 km según corresponda a la longitud del canal  
 5.- Potencial remanente: calculado desde los 2,5km ó 5 km hasta el término del canal

4.2.- Resumen de potencial extrapolado, energía generable y factores de planta a nivel nacional.

En el Cuadro N°4.2-1 se presenta un resumen de los potenciales de microgeneración estimados mediante extrapolación para las distintas regiones. Además se presentan los resultados obtenidos en el estudio CNR-CNE 2009.

**CUADRO N°4.2-1  
RESUMEN POTENCIALES DE MICROGENERACIÓN  
ESTIMADOS MEDIANTE EXTRAPOLACIÓN  
A NIVEL REGIONAL**

REGIÓN	TOTAL REGIONAL ESTUDIO MIN. ENERGÍA – CNR 2011	TOTAL REGIONAL ESTUDIO CNE-CNR 2009
	[kw]	[kw]
Arica y Parinacota	18.155	14.877
Tarapacá	3.105	2.299
Antofagasta	272	202
Atacama	8.990	7.193
Coquimbo	38.758	30.888
Valparaíso	53.812	42.985
Metropolitana	46.153	34.958
O'Higgins	83.784	83.784
Maule	133.027	207.029
Bío-Bío	52.287	96.135
Araucanía	10.074	17.303
<b>Total</b>	<b>448.418</b>	<b>537.654</b>

En el Cuadro N°4.2-2 se presenta un resumen de la energía estimada por cuenca y región. Además se presenta el cálculo del factor de planta.

**CUADRO N°4.2-2**  
**RESUMEN ENERGÍA TOTAL ANUAL GENERABLE ESTIMADA CON MICROGENERACIÓN**  
**Y FACTOR DE PLANTA POR REGIÓN**

REGIÓN	ENERGÍA TOTAL ANUAL GENERABLE POR REGIÓN ESTUDIO MIN. ENERGÍA – CNR 2011 [GWh]	FACTOR DE PLANTA	ENERGÍA TOTAL ANUAL GENERABLE POR REGIÓN ESTUDIO CNE-CNR 2009 [GWh]	FACTOR DE PLANTA
Arica y Parinacota	129	0,83	106	0,83
Tarapacá	22	0,83	16	0,83
Antofagasta	2	0,88	1	0,88
Atacama	62	0,83	50	0,83
Coquimbo	261	0,80	207	0,80
Valparaíso	296	0,65	237	0,65
Metropolitana	257	0,67	194	0,67
O'Higgins	416	0,59	416	0,59
Maule	998	0,90	1.416	0,81
Bío-Bío	393	0,91	688	0,84
Araucanía	71	0,86	126	0,86
<b>Total</b>	<b>2.906</b>	<b>0,78</b>	<b>3.457</b>	<b>0,76</b>

Nota: 1) Para canales, la energía máxima factible de generar considera un total anual de 8.640 horas, es decir, se genera un máximo de 360 días con un período mínimo para efectos de mantenimiento de 5 días (120 horas), funcionando con la máxima potencia determinada, para el caudal del año 50%.  
 2) En embalses para riego, la generación es durante 8 horas diarias durante la temporada de riego de 3 meses, es decir,  $8 \times 3 \times 30 = 720$  horas de generación al año. Esta exigencia se relaciona con la operación de estos embalses de riego de tamaño medio a menor, en que esta generación asociada al riego emplea solamente derechos consuntivos de agua, los cuales se usan íntegramente en verano, luego de haber sido almacenados en invierno. Dado lo anterior, el factor de planta en estos casos será muy bajo.

En el Cuadro N°4.2-3 se presenta un ranking ordenado por región, donde se puede apreciar que las seis regiones que presentan potencial más interesante son las regiones del Maule, O'Higgins, Valparaíso, Bío-Bío, Metropolitana y Coquimbo

**CUADRO N°4.2-3**  
**RANKING POR REGIÓN SEGÚN POTENCIAL DE MICROGENERACIÓN**  
**ESTIMADO POR EXTRAPOLACIÓN**  
**DE LOS RESULTADOS CALCULADOS PARA LA REGIÓN DEL MAULE**

N°	REGIÓN	POTENCIAL ESTIMADO POR EXTRAPOLACIÓN [Kw]
1	Maule	133.027
2	O'Higgins	83.784
3	Valparaíso	53.812
4	Bío-Bío	52.287
5	Metropolitana	46.153
6	Coquimbo	38.758
7	Arica y Parinacota	18.155
8	Araucanía	10.074
9	Atacama	8.990
10	Tarapacá	3.105
11	Antofagasta	272
<b>Total Nacional</b>		<b>448.418</b>

Nota: - El Potencial de la región de O'Higgins se ha determinado en forma efectiva en el estudio CNE-CNR 2009  
 - El Potencial de la región del Maule se ha determinado en forma efectiva en este estudio.

## 5.- Conclusiones y comentarios finales.

- La gran aptitud para microgeneración en obras asociadas al riego ha quedado establecida en los diversos estudios realizados, destacándose los análisis detallados tanto en la Región de O'Higgins como en la Región del Maule, encontrándose alternativas interesantes de ser analizadas de manera específica.
- La Región del Maule presenta un potencial calculado para microgeneración, de unos 133 Mw, asociado a canales individuales, unificaciones masivas de bocatomas y embalses destinados al riego. La energía asociada a ese potencial se estima en 998 GWh, con un factor de planta de 0,9.
- El resultado del cálculo de potencial de microgeneración a nivel nacional entrega unos 448 Mw, calculado mediante extrapolación a partir de la región del Maule. Si se realiza una comparación con los resultados obtenidos en el estudio CNR-CNE 2009, realizado a partir de la Región de O'Higgins, éste entregó un potencial de microgeneración de 537Mw. La diferencia entre ambos estudios se debe principalmente a las grandes características agroclimáticas y de rendimiento hídrico, que varían de región en región, y de cuenca en cuenca.
- Para los casos de canales entre 0,8m<sup>3</sup>/s y 4m<sup>3</sup>/s, se calculó el potencial remanente (sobre 2,5km o 5 km) con un caudal de riego que disminuye proporcionalmente a medida que éste se distribuye en las zonas de riego. Para la temporada de invierno, se considera un caudal remanente constante del 10% como más probable en bocatoma. El potencial en invierno se analizó caso a caso buscando el mayor desnivel con devolución al río, a una distancia máxima aproximada de 1 km.
- Comparando los casos de canales analizados entre la Regiones de O'Higgins y Maule, la primera presenta un desnivel promedio para el análisis de 30 metros, en comparación con la región del Maule con un desnivel promedio de 12 m. Este puede ser un antecedente para la sobreestimación de potencial desde O'Higgins hacia el Maule. En ambos casos el punto promedio de medición y longitud son similares.
- En la Región del Maule se analizaron con datos registrados en específico, en aproximadamente un 35% de los canales, ya que no se contaba con información de caudal y trazado de todos los canales. En relación al resto de los canales sin información detallada, se tiene el nombre y en ciertos casos su ubicación. Las fuentes de información principales fueron los catastros de canales y bocatomas de la DGA y E-SSIR de la CNR. El cálculo del potencial para toda la región, considerando los canales sin información de trazado y caudal, se realizó a través de un prorrateo en función de la demanda hídrica para cada cuenca y cada zona (alta, media y baja), a partir del potencial ya calculado. De manera similar se hizo para la energía.
- Con respecto a los embalses, el caudal para el cálculo de potencial corresponde a la demanda hídrica de la zona de riego de dicho embalse. El área de riego se determinó con foto satelital Google Earth Plus y para la tasa de riego se consideraron los 4 cultivos principales de la zona de riego donde se encuentra el embalse, distribuidos proporcionalmente en la zona analizada. Los datos se obtuvieron del estudio "Análisis de uso actual y futuro de los recursos hídricos de Chile" Año 1996. La fuente de información para los embalses fueron DGA y E-SSIR.

- Para la extrapolación nacional, se divide cada región en zona alta, media y baja dependiendo de su pendiente. En el estudio del año 2009, no se consideró zona alta en la región del Maule, la que si se consideró en este estudio y sirvió para obtener una extrapolación más detallada.
- La extrapolación de la zona alta presenta una mayor sensibilidad que las otras zonas, es decir, un aumento del potencial en la zona alta del Maule resulta en un aumento de la estimación del potencial total en las otras regiones; estos valores son superiores a los que se obtendrían si ese aumento se determinara a partir de la zona media o baja de la Región del Maule.
- El factor de planta debería ser similar en ambos estudios señalados, pues la razón entre energía anual y máxima anual va en función de la disponibilidad hidrológica, la que es la misma para los dos estudios. Para el factor de planta de este estudio se presenta los datos calculados de la región del Maule y una variación en la estación fluviométrica en Chillán, obteniendo un factor de planta de 0,77, muy similar al estudio de 2009 con un valor de 0,76.
- Las metodologías empleadas fueron las utilizadas en el estudio de microgeneración en la Región de O'Higgins del año 2009, lo que brinda un criterio técnico común para ambos estudios.