



GOBIERNO DE CHILE
COMISION NACIONAL DE ENERGIA

gtz



POTENCIAL DE

BIOMASA FORESTAL

POTENCIAL DE GENERACION DE ENERGIA POR RESIDUOS
DEL MANEJO FORESTAL EN CHILE

POTENCIAL DE

BIOMASA
FORESTAL

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA POR RESIDUOS
DEL MANEJO FORESTAL EN CHILE

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA POR RESIDUOS DEL MANEJO FORESTAL EN CHILE

Publicado por:

Proyecto Energías Renovables
No Convencionales en Chile (CNE/GTZ)

Comisión Nacional de Energía (CNE)

Teatinos 120, Piso 7, Santiago, Chile
www.cne.cl

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Federico Froebel 1776, Providencia, Santiago, Chile
www.gtz.de

Coordinación:

Christian Santana (CNE)
Trudy Könemund (GTZ)

Autores:

José Bertran Spichiger
Eduardo Morales Verdugo

Consultores:

Ecofys GmbH, Köln, Alemania
www.ecofys.de

Diseño y diagramación:
Hernán Romero

Impresión y encuadernación:
ByB Impresores

ISBN: 978-956-7700-10-3

Santiago de Chile, enero 2008

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA POR RESIDUOS DEL MANEJO FORESTAL EN CHILE

Comisión Nacional de Energía



Cooperación técnica alemana



Cooperación Intergubernamental
Chile - Alemania



Aclaración

Este estudio fue preparado por encargo del proyecto “Energías Renovables No Convencionales en Chile” implementado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Sin perjuicio de ello, las conclusiones, opiniones y recomendaciones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GTZ. De igual forma, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar no constituye en ningún caso una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GTZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.

Resumen ejecutivo

El presente estudio es una primera aproximación a la determinación de la viabilidad de desarrollar en Chile el potencial de generación de energía a partir de residuos del manejo de la biomasa forestal. Su objetivo se centra en verificar si el manejo forestal y su corolario, los desechos de cosecha, raleos y podas son una alternativa promisorio para tales fines.

Las actividades de manejo forestal están estrechamente relacionadas con el nivel de actividad de la industria forestal. Se estima que el actual nivel de producción de la industria forestal en Chile cosecha alrededor de 55 mil hectáreas anuales, e interviene con actividades de manejo intermedio, alrededor de unas 30 mil hectáreas adicionales, para conformar una manipulación total de alrededor de 85 mil hectáreas anuales. Más del 95% de la materia prima industrial que se procesa en Chile proviene de las plantaciones. El bosque nativo provee una pequeña parte del procesamiento industrial y a una cuantiosa cantidad que se expresa en el suministro de leña para uso domiciliario y de algunas industrias menores.

En Chile se cuenta con un muy eficiente sistema de estadísticas para monitorear las diversas actividades económicas que se realizan en el país. El sector forestal no es una excepción, por lo tanto para la realización de este estudio se dispuso de una gran cantidad de información la que permitió evaluar en un horizonte de 15 años el flujo de residuos a partir del manejo forestal. El punto de partida fue la información sobre la existencia de plantaciones entre la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y la Región de Los Lagos de Chile, información que se complementó con sendos estudios sobre la disponibilidad futura de materia prima de pino radiata y eucalipto preparados por el Instituto Forestal de Chile, INFOR.

Una vez que se tuvo certeza que de acuerdo a esos estudios, y dada la capacidad instalada industrial actual y prevista, la base de recursos de plantaciones asegura el abastecimiento de la capacidad industrial, se procedió a simular los distintos escenarios por regiones utilizando el "Simulador de crecimiento de plantaciones de pino radiata y eucalipto" en Chile.

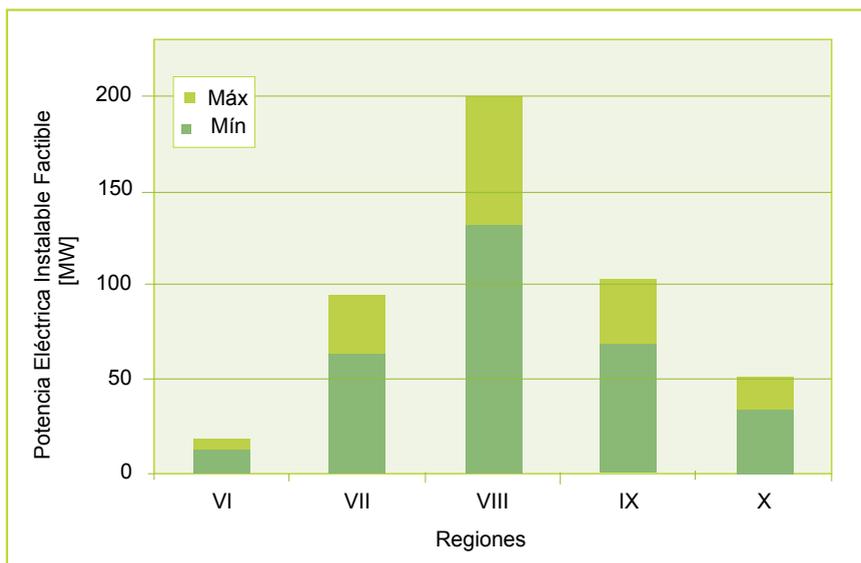
Se analizaron los datos sobre plantaciones de pino radiata y eucalipto para las 152 comunas comprendidas entre la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y la Región de Los Lagos, y se agrupó la información por áreas de "influencia industrial", de "baja competencia" y "dispersas". Las comunas se agruparon conforme a estos criterios en comunas tributarias a dichas áreas.

Se consideró área de influencia industrial el área cubierta por una agrupación de comunas, en una de las cuales existe la presencia de una industria o actividad forestal principal y destacada que, por su escala de operaciones, pudiera generar alta demanda y atracción

por los bosques presentes en ellas. El área de baja competencia es la agrupación de comunas, que por su distancia a la industria o actividad forestal principal, la demanda o atracción por los bosques es menor o inexistente. Finalmente, las áreas o superficies “dispersas” son plantaciones de pequeña superficie, en las cuales, por su tamaño y lejanía, difícilmente podrían ser atractivas para abastecer de residuos de manejo forestal a una industria o actividad forestal principal.

A partir de la clasificación señalada arriba, se procedió a realizar una estimación de la cantidad de desechos del manejo forestal por especie, región y agrupación de comunas, y con esa información se construyeron los cuadros de potencial energético. Para ello, primero se calcularon los valores caloríficos atribuibles a pino radiata y a eucalipto y luego la generación teórica de energía (en MWh) atribuible a cada especie.

Considerando la necesidad de mantener en el bosque una parte de los residuos generados para efectos de mantención de las condiciones del suelo, se estableció un factor de aprovechamiento o de extracción de la biomasa residual de 75%, es decir, se consideró que una cuarta parte de los residuos permanecen en el bosque. A partir de esa información, se determina el potencial de generación de dicha biomasa aplicando factores de utilización de un 50% como mínimo y de un 75% como máximo, es decir, de los residuos extraídos del bosque se utilizan como mínimo un 50% y como máximo un 75% para fines de generación eléctrica. El resultado fue un potencial total del orden de los 470 MW de potencia instalable factible como máximo y 310 MW como mínimo, con la distribución por regiones que se muestra en la figura siguiente.



Para los efectos de la figura, X Región representa a las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos.

Finalmente, se procedió a realizar una estimación de lo que podrían ser los costos de disponibilidad de la biomasa residual comprendiendo en ello, el costo de apilado o recolección, el proceso de picado o “mulching”, y el transporte a la planta de generación.

Sin considerar pagos por una eventual compra de la biomasa residual, el costo de este tipo de combustible se estimó entre 15 a 20 US\$/ton, lo que equivale a un costo variable del combustible de entre los 25 y 35 US\$/MWh, considerando biomasa proveniente de distancias medias de transporte de entre 30 y 60 kilómetros. Con todo, los precios monómicos de equilibrio para proyectos con biomasa forestal residual, estarían comprendidos de entre los 63 y los 80 US\$/MWh para tamaños de planta de 20 y 10 MW_e respectivamente, sin considerar posibles ingresos por venta de bonos de carbono.

Índice

1	Introducción	11
1.1	Bosques productivos	11
1.2	La industria forestal	15
2	Descripción de las distintas biomásas disponibles en el sector forestal en Chile	19
2.1	Los residuos industriales	20
2.2	Residuos del manejo forestal	21
3	Metodología	23
3.1	Fuentes de información	23
3.2	Base de datos utilizada	24
3.3	Agrupación de la información	25
3.4	Procedimientos metodológicos	27
3.5	Determinación de desechos	28
3.5.1	Pino radiata	28
3.5.2	Eucalipto	29
3.5.3	Estudios de disponibilidad	30
3.5.4	Simulación de los esquemas de manejo	30
4	Potencial teórico para la generación eléctrica a partir de residuos leñosos en Chile	31
4.1	Integración de residuos	31
4.2	Determinación del potencial energético	33
4.3	Estimación de la potencia instalable factible	34
4.4	Costo de disponibilidad	37
5	Conclusiones	41
	Anexos	
	Anexo 1: Glosario y Abreviaciones	45
	Anexo 2: Cartografía del estudio	49
	Anexo 3: Cuadros de detalle de la superficie de plantaciones y cálculo de la disponibilidad de biomasa forestal (en CD-ROM adjunto)	

1. Introducción

Chile posee una superficie de 75,5 millones de hectáreas, excluyendo el Territorio Antártico Chileno. De esta superficie un 45%, es decir 33,8 millones de hectáreas tienen aptitud forestal. Del total de estas tierras 15,6 millones de hectáreas son bosques nativos y plantaciones forestales. Las restantes 18,2 millones de hectáreas son áreas protegidas tanto en manos de privados como del Estado, de las cuales 14,5 millones de hectáreas son áreas silvestres protegidas, constituidas por Parques Nacionales y otras superficies comprendidas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado.

1.1 Bosques productivos

Los bosques productivos del país están constituidos por tres tipos de recursos:

Un primer tipo son los bosques nativos adultos, en términos generales bastante degradados, por cuanto fueron sometidos a una extracción selectiva en el pasado lo que tuvo como consecuencia actual un bosque poco rentable. La baja rentabilidad es consecuencia de su alejamiento de los centros de actividad económica rural, de la carencia de vías expeditas de acceso, de la deteriorada calidad de la madera y del bajo valor por unidad de superficie de los bosques remanentes, ya que en el pasado se extrajeron las mejores especies y ejemplares.

Un segundo tipo de bosque son 3,5 millones de hectáreas de bosque nativos renovales. Estas formaciones constituidas por árboles jóvenes, surgen como consecuencia de las extensas áreas que en el pasado se quemaron por incendios incontrolables originados en su mayoría por faenas para la habilitación de tierras agrícolas.

Un tercer tipo de bosques son las plantaciones forestales que comenzaron a establecerse en Chile en los últimos años del 1800.

Como se puede apreciar de las cifras contenidas en la Tabla 1, los recursos forestales nativos se encuentran mayoritariamente desde las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos al sur. Con la excepción de las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos, el resto de esos bosques son virtualmente inaccesibles por lo que no se observan en esta área operaciones forestales de importancia.

Tabla 1: Superficie forestal por regiones en ha 2004

Distribución	Bosque nativo	Plantaciones	Total bosques	%
I	7.682	24.825	32.507	0,21
II		1.040	1.040	0,01
III		2.595	2.595	0,02
IV	1.377	74.179	75.556	0,49
V	94.008	52.962	146.970	0,95
RM	93.345	14.404	107.749	0,69
VI	117.798	90.216	208.014	1,34
VII	369.708	388.123	757.831	4,88
VIII	785.766	791.831	1.577.597	10,16
IX	907.521	389.946	1.297.467	8,36
X	3.610.314	208.825	3.819.139	24,60
XI	4.830.743	39.544	4.870.287	31,38
XII	2.625.054	158	2.625.212	16,91
Total	13.443.316	2.078.648	15.521.964	100,00

Fuente: Los autores basados en información del Instituto Forestal y otras fuentes, 2005
Para los efectos de la tabla, X Región representa a las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos.

Los bosques naturales, es decir los bosques nativos, ocupan una superficie de 13,4 millones de hectáreas. De estos, el 29% (3,9 millones de ha) se encuentran en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), y otros 4,4 millones de ha son considerados bosques de protección. La superficie que se considera bosques nativos productivos alcanza aproximadamente 5,3 millones de ha. A estos, se suman alrededor de 2 millones de ha de plantaciones forestales. En la Tabla 2 se muestran las superficies de protección y de producción de los bosques nativos y de las plantaciones, respectivamente.

Tabla 2: Distribución de la superficie de bosques según superficie de protección o productivo

	Total	Superficie de protección	Superficie productivo	
		ha	ha	%
Bosque nativo	13.443.316	8.098.043	5.345.273	0,40
Plantaciones	2.078.648		2.078.648	1,00
Total	15.521.964	8.098.043	7.423.921	0,48

Fuente: Los autores basados en información del Instituto Forestal y otras fuentes, 2005

Al analizar las cifras de la tabla anterior se puede concluir que sólo un 40% de la superficie de los bosques nativos es productiva.

Tabla 3: Superficie cubierta por plantaciones 2004

Especies	Superficie
	ha
Pino radiata	1.408.430
Eucaliptos	489.603
Atriplex	58.501
Tamarugo	20.686
Pino oregón	16.459
Álamo	8.130
Schinuss molle	6.008
Otras especies	70.830
Total	2.078.647

Fuente: Instituto Forestal, 2004

Las plantaciones, se encuentran distribuidas a lo largo del país, sin embargo, las plantaciones realmente productivas y relevantes son las constituidas por: pino radiata; eucalipto, pino oregón y álamo. Estas plantaciones se distribuyen desde la Región de Valparaíso a la Región de Aysén.

En la Tabla 4 se muestra la superficie de bosques comerciales.

Tabla 4: Bosques comerciales en Chile 2004

Tipo forestal	Superficie	%
	ha	
Bosque nativo	5.345.274	72,00
<i>Adulto</i>	811.678	
<i>Renoval</i>	3.582.408	
<i>Adulto / renoval</i>	865.446	
<i>Bosque mixto</i>	85.742	
Plantaciones	2.078.647	28,00
Total	7.423.921	100,00

Fuente: Elaboración propia basado en Instituto Forestal y otras fuentes

El análisis de la tabla anterior permite apreciar que el bosque nativo cubre más del 72% de la superficie de bosques productivos. Sin embargo, como se mostrará más adelante sólo contribuye con el 6% del suministro de trozas industriales. La convención general indica que las trozas industriales son aquellas destinadas al procesamiento de productos forestales en alguna facilidad industrial (madera aserrada, tableros, chapas, pulpa y otros análogos).

En la Tabla 5, se presenta la marcha de la forestación (nuevas plantaciones) y de la reforestación, la cual en Chile es obligatoria después de la cosecha.

Tabla 5: Forestación y reforestación por especie (ha)

Año	Pino radiata			Eucalipto globulus, nitens y otros			Otras especies			Total nacional		
	Total	Forest.	Reforest.	Total	Forest.	Reforest.	Total	Forest.	Reforest.	Total	Forest.	Reforest.
1978	65.413	45.135	20.278	475	418	57	11.483	8.383	3.100	77.371	53.936	23.435
1979	48.859	33.713	15.146	357	314	43	3.000	2.190	810	52.216	36.217	15.999
1980	60.086	41.459	18.627	79	70	9	11.999	8.759	3.240	72.164	50.288	21.876
1981	88.529	61.085	27.444	397	349	48	3.855	2.814	1.041	92.781	64.249	28.532
1982	61.884	42.700	19.184	1.014	892	122	5.935	4.333	1.602	68.833	47.925	20.908
1983	63.884	44.080	19.804	1.682	1.480	202	10.714	7.821	2.893	76.280	53.381	22.899
1984	76.982	53.118	23.864	5.620	4.946	674	13.000	9.490	3.510	95.602	67.553	28.049
1985	80.630	55.635	24.995	5.156	4.537	619	10.492	7.659	2.833	96.278	67.831	28.447
1986	55.058	37.990	17.068	5.743	5.054	689	5.394	3.938	1.456	66.195	46.981	19.214
1987	55.386	38.216	17.170	4.312	3.795	517	5.743	4.192	1.551	65.441	46.203	19.238
1988	61.841	42.670	19.171	8.619	7.585	1.034	2.484	1.813	671	72.944	52.068	20.876
1989	65.587	45.255	20.332	17.492	15.393	2.099	3.626	2.647	979	86.705	63.295	23.410
1990	61.310	42.304	19.006	28.747	25.297	3.450	4.073	2.973	1.100	94.130	70.575	23.555
1991	75.416	52.037	23.379	34.178	29.735	4.443	7.848	5.729	2.119	117.442	87.501	29.941
1992	81.868	54.852	27.016	40.549	35.967	4.582	8.012	5.849	2.163	130.429	96.667	33.762
1993	71.411	46.417	24.994	45.678	38.826	6.852	7.615	5.559	2.056	124.704	90.802	33.902
1994	63.062	39.424	23.638	37.223	30.736	6.487	9.602	7.056	2.546	109.885	77.215	32.670
1995	62.723	30.593	32.130	29.555	24.009	5.546	7.580	5.546	2.034	99.857	60.148	39.709
1996	53.445	26.565	26.880	18.137	14.274	3.863	7.011	3.863	3.148	78.593	44.702	33.891
1997	55.869	28.376	27.493	17.043	12.527	4.516	6.573	4.516	2.057	79.484	45.419	34.065
1998	58.752	18.147	40.605	22.798	14.044	8.754	5.030	3.409	1.621	86.579	35.483	51.096
1999	69.925	22.605	47.320	33.549	13.243	20.306	4.796	3.759	1.037	108.269	40.254	68.015
2000	59.411	16.453	42.958	36.780	23.173	13.607	6.159	4.708	1.451	102.350	44.334	58.016
2001	48.432	14.884	33.548	38.545	22.739	15.806	7.878	6.553	1.325	94.855	44.176	50.679
2002	39.072	15.182	23.890	36.474	19.689	16.785	12.541	11.348	1.193	88.089	46.220	41.869
2003	58.214	17.137	41.077	49.652	31.029	18.623	11.631	8.578	3.053	119.497	56.744	62.753
2004	61.560	18.724	42.836	52.031	32.657	19.374	17.049	16.856	193	130.641	68.237	62.404

Fuente: Instituto Forestal, 2004

Sin embargo, para los efectos de la determinación de los volúmenes disponibles, es preciso agregar el material proveniente de las faenas de raleo.

Con el propósito de ilustrar aproximadamente la superficie de corta anual, se asume que la reforestación promedio del último quinquenio está destinada a cubrir la corta final por tala rasa; ésta resulta ser 55 mil hectáreas anuales. Sin embargo, como en las faenas de raleo no se corta todo el arbolado en pie, para los efectos de la determinación de volúmenes disponibles, es preciso agregar el material proveniente de raleos.

Por su parte, la propiedad de las plantaciones se encuentra concentrada en tres grandes compañías y en miles de pequeños y medianos propietarios distribuidos principalmente entre la

Región de Valparaíso y de Los Lagos. En la siguiente tabla se muestra la distribución estimada de la propiedad de las plantaciones industriales en el país.

Tabla 6: Distribución de la plantación por tamaño de propietario

Rango de tamaño ha	Número de propietarios	Superficie (*) ha	%
Grandes compañías	3	1.097.000	52,9
Propietarios individuales			
Sobre 2,000	195	281.328	13,6
de 1.000 a menos de 2.000	140	196.019	9,6
de 500 a menos de 1.000	230	157.198	7,6
de 200 a menos de 500	451	139.527	6,7
de 100 a menos de 200	566	79.270	3,8
de 50 a menos de 100	831	58.762	2,8
de 10 a menos de 50	2.130	51.947	2,5
de 1 a menos de 10	2.880	10.086	0,5
Total	7.426	2.071.137	100,0

Fuente: Elaboración propia en base a las cifras del Instituto Nacional de Estadísticas, VI Censo Nacional Agropecuario, 1997. Instituto Forestal, comunicación personal de E. Morales, actualización.

(*) Especies: Pino radiata, eucaliptos, álamo, acacias, pino oregón, nativos

Las cifras de la tabla anterior indican que las propiedades individuales sobre 1.000 ha suman el 23,2% de la propiedad, un número interesante para los objetos de este estudio, si se considera que representan casi un cuarto de la superficie de plantaciones.

1.2 La industria forestal

La industria primaria forestal está bien desarrollada en Chile, procesando fundamentalmente trozos provenientes, en la mayoría de las operaciones, de corta y raleos realizados en las plantaciones. Una parte menor de la materia prima proviene del aprovechamiento de residuos de la producción de madera aserrada, tratándose en primer lugar de astillas que se generan en los modernos aserraderos de perfiladores-astilladores, del aserrín, corteza y otros residuos originados en la industria. Esta industria produce madera aserrada, pulpa mecánica y química (celulosa), tableros a base de madera, tales como tableros de fibra, de partículas, OSB, MDF, chapas y contrachapados y una diversidad de otros productos primarios.

La industria secundaria del papel produce papel periódico, así como una variedad de papeles de imprenta y escribir, cartulina, envases de cartón y otros productos de la papelería.

La siguiente tabla presenta en forma comparativa el suministro de madera en trozo para la industria forestal.

Tabla 7: Consumo de madera en troza industrial, 2004
Miles de m³ sólidos sin corteza

	Pulpa mecánica	Pulpa química	Madera aserrada	Tableros	Trozos de exportación		Astillas	Otros	Total
					aserrables	pulpables			
Pino radiata	1.286,9	7.277,7	14.911,0	1.584,7	68,0	116,9	108,2	448,2	25.801,6
Eucaliptos	6,0	2.641,1	11,3	6,9		81,3	2.590,0	4,6	5.341,2
Especies nativas			418,5	197,0	7,0			1,2	623,7
Total	1.292,9	9.918,8	15.509,8	1.813,5	75,0	198,4	2.698,2	491,4	31.998,0

Fuente: INFOR, Estadísticas Forestales 2004. Boletín Estadístico 101, Santiago 2005

Como se podrá inferir del análisis de las cifras contenidas en la tabla anterior, el procesamiento de casi 32 millones de metros cúbicos en trozas, significa la producción de un apreciable volumen de residuos madereros y especialmente de aserrín. Esto que podría significar un grave problema ambiental, ha sido de algún modo resuelto por la industria en forma expedita al desarrollar tecnologías para su aprovechamiento y mercados para la transacción de estos residuos madereros.

Pero la industria, como se ha señalado, se ha expandido no sólo con nuevas plantas sino que además ha modernizado y ampliado las instalaciones existentes, lo que significa una creciente demanda de energía en el marco de un mercado energético que presenta restricciones y alzas de precios. Por ello, la industria volcó inicialmente su interés a los residuos de la industria de la madera, para su aprovechamiento energético. Estos sin embargo, se han tornado crecientemente escasos, lo que ha impulsado a las grandes compañías a buscar en los residuos del manejo forestal de sus propios bosques una fuente de biomasa combustible, aspecto que si bien se ha estado evaluando, no se ha traducido en el desarrollo de proyectos asociados al uso energético de esta fuente de biomasa.

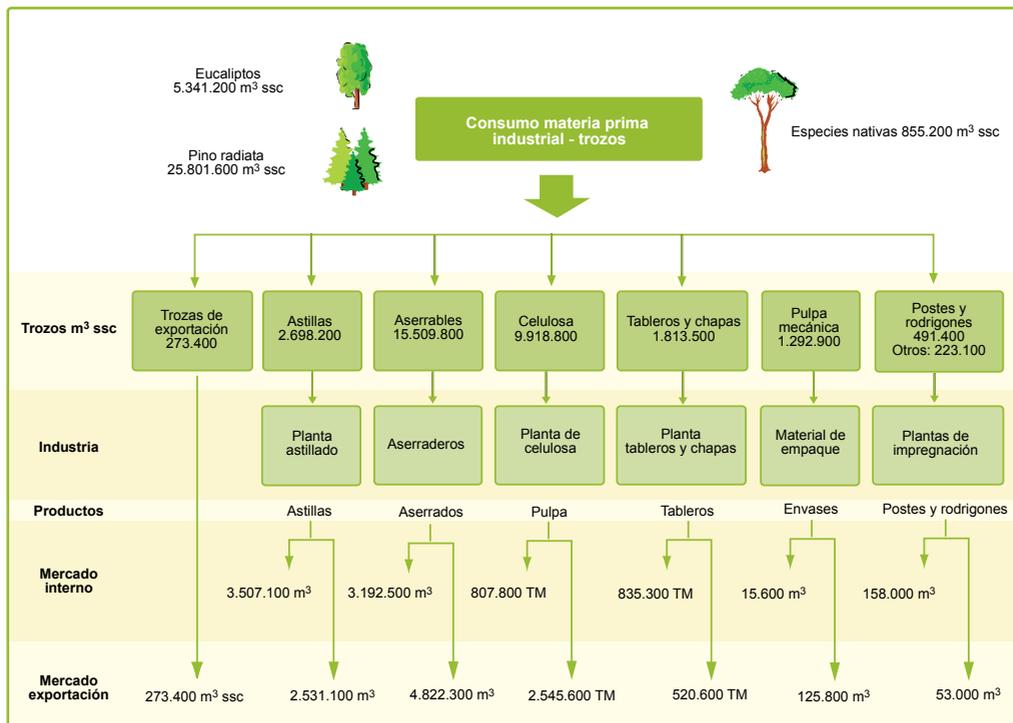
En la Figura 1 se representan los flujos de materia prima en la industria forestal en Chile.

En la figura se utilizan tres distintas unidades de medida:

- Para la materia prima o madera en rollo (trozas) m³ sólidos sin corteza (s.s.c.)
- Para los productos sólidos de la madera m³ (metros cúbicos)
- Para la industria de la pulpa y los tableros toneladas métricas (TM)

En virtud de lo anterior y que los coeficientes técnicos de transformación de trozas a los distintos productos son diferentes, la suma de los números necesariamente no puede coincidir, salvo para el total de la línea de madera en trozas. De acuerdo a las cifras anteriores un 98% de la materia prima de madera en troza proviene de plantaciones; esta contundente proporción tiende a aumentar ya que hay en la actualidad varios proyectos de expansión industrial que contemplan la utilización de trozos de pino radiata y eucalipto en sus procesos. Solo uno de ellos contempla abastecerse parcialmente de materia prima proveniente del bosque nativo.

**Figura 1: Flujo de trozas industriales
Industria forestal chilena, 2004**



Fuente: Elaboración propia en base a INFOR, Estadísticas Forestales 2004, Boletín Estadístico 101, Santiago 2005

2. Descripción de las distintas biomásas disponibles en el sector forestal en Chile

La generación de energía eléctrica a partir de material leñoso, residuos de la industria forestal y residuos forestales propiamente tales¹, abre la oportunidad de su aprovechamiento energético masivo, dado el desarrollo de las tecnologías forestales y de combustión. Adicionalmente, los proyectos que utilicen biomasa forestal para la generación de energía eléctrica son considerados como una contribución a la mitigación de las consecuencias de la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) en la atmósfera. En virtud de los acuerdos del IPCC en el marco de la Convención del Cambio Climático, la combustión de estos residuos, al desplazar combustibles fósiles evita la acumulación de CO₂ en la atmósfera.

En la Tabla 8 se muestran el origen de los distintos residuos madereros generado por el manejo forestal y por la industrialización de las trozas y las maderas intermedias.

Tabla 8: Residuos industriales por especies

Tipo bosque	Manejo forestal	Industria para cada tipo de bosque	Desecho
Pino radiata	Desecho de podas	Aserrío	Corteza
	Desecho de raleos		Aserrín verde
	Desecho corta final	Remanufacturas	Tapas y cantonera
			Aserrín seco
			Virutas
			Despunte
		Polvo de lija	
Eucalipto		Celulosa	Corteza
	Desecho de podas	Aserrío	Corteza
	Desecho de raleos		Aserrín verde
	Desecho corta final		Tapas y cantonera
Bosque nativo	Desecho corta final	Celulosa	Corteza
		Aserrío	Corteza
			Aserrín verde
			Tapas y cantonera
		Confección de leña	

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los residuos del manejo forestal son básicamente los desechos de podas, los desechos de raleos y los desechos de corta final en el caso de las especies plantadas, y sólo los desechos de corta final en el caso del bosque nativo ya que en el estado actual de desarrollo de esos bosques, las prácticas silviculturales intermedias no están extendidas.

¹ Material leñoso (leña), residuos de la industria forestal (despunte, recortes, cantoneras, tapas, aserrín, polvo de lijado y otros análogos) y residuos forestales (puntas de árboles, ramas, residuos de la corta y manejo forestal).

Por su parte, los desechos industriales son, en el caso de la madera verde, corteza, aserrín verde y tapas y cantoneras, tanto para las especies plantadas como para el procesamiento de especies nativas. Para las remanufacturas son aserrín seco, virutas del proceso de cepillado, despuntes originados en el dimensionado y polvo de lija.

En el caso de las especies plantadas, se da tanto el caso que la corteza se extrae en el sitio de cosecha así como también que las trozas se descortezan en las plantas de destino, especialmente las plantas de celulosa, donde se utilizan para la generación de calor y energía eléctrica en las mismas plantas.

2.1 Los residuos industriales

En la Tabla 9 se muestra en forma compendiada los residuos industriales generados en el procesamiento de las tres principales fuentes de materia prima. Las dos primeras, pino radiata y eucalipto, en las plantaciones, y la tercera, los residuos provenientes del bosque nativo.

Tabla 9: Balance de residuos de biomasa foresto - industrial

Especie	Materia prima miles m ³ s.s.c.	Industria primaria	Producto m ³ / TM*	Industria secundaria	Producto m ³	Desechos m ³
Pino radiata	13.144	Aserrío	6.758			4.109
				Remanufactura	2.027	608
	1.326	Tableros	1.630			
	6.807	Celulosa	2.234*			
	4.171	Astillas				
Eucalipto	144	Aserrío	68			16
	11	Tableros	5			
	1.738	Celulosa	536*			
	2.599	Astillas				
Bosque nativo	421	Aserrío	178			6
				Barracas	26	10
	215	Tableros	105			
	6	Astillas				
					Total	4.749

Fuente: Elaboración propia en base de antecedentes Estadísticas Forestales INFOR

En la tabla anterior la estrella indica que el volumen de residuos se expresa en TM (toneladas métricas) en tanto que la materia prima se mide en m³ s.s.c. y los productos o sub productos de la madera sólida en m³. La flecha de retorno indica que el volumen de astillas producidas a partir de maderas nativas se agrega al flujo de eucalipto para la producción de pulpa de fibra corta.

El análisis de las cifras contenidas en la tabla anterior demuestra que la principal fuente de residuos de biomasa forestal originada en la industria es el aserrío de pino radiata.

La introducción de aserraderos perfiladores-astilladores, permite que una gran proporción de la madera exterior que antes se transformaba en cantoneras y tapas, hoy se transformen en el proceso mismo del aserrío, en astillas cuyo destino puede ser el comercio de exportación o el abastecimiento de las plantas de celulosa. En este mismo sentido, el procesamiento de las trozas aserrables hoy en día implica la necesidad de descortezarlas en el aserradero mismo, lo cual permite disponer in situ de un recurso energético, que en algunos casos se utiliza en la producción de energía eléctrica.

El aserrín, el residuo que mayores amenazas ambientales plantea, está siendo utilizado profusamente tanto como combustible en las calderas de los secadores de los propios aserraderos, como en materia prima en la industria de los tableros de partículas y los tableros MDF. Estas industrias están preparadas para utilizar los aserrines en sus distintos tamaños, lo que les permite reemplazar el uso de materia prima proveniente del bosque.

Por lo anterior, quedarán explícitamente fuera de este estudio de potencial energético los residuos de la industria de la madera, pues se están utilizando intensamente en los grandes y medianos aserraderos y como complemento en las plantas de energía de la industria de la celulosa. Además, los que eventualmente pudieran quedar disponibles, están dispersos y corresponden en general a los aserraderos de menores tamaños.

Los residuos forestales provenientes de la industrialización de las trozas y la madera intermedia que se mostraron en la segunda columna de la Tabla 8 serán el objeto de atención del presente estudio, quedando excluidos los desechos de la séptima columna de la Tabla 9.

Este hecho fundamental hace que la búsqueda de combustibles de biomasa forestal se oriente a las faenas que se desarrollan en el bosque antes que la materia prima llegue a las plantas de procesamiento industrial.

2.2 Residuos del manejo forestal

Los volúmenes de desperdicios de biomasa forestal representados en los residuos del manejo forestal y de las operaciones de cosecha constituyen un real potencial de combustible; existiendo hoy la tecnología y los medios para aprovecharlos en proyectos de generación de energía. El desarrollo de la infraestructura vial, externa e interna, ha eliminado las principales restricciones de disponibilidad y transporte en las localidades o áreas circundantes donde se ubican las plantaciones; y además existen los medios de transporte para alcanzar distancias medias y la tecnología y medios de carga y descarga.

El problema técnico planteado por la medición o estimación de los volúmenes de los residuos del manejo forestal está resuelto y se presentará en el capítulo de metodología.

Sin duda que con los volúmenes de madera que se procesa y extrae de las plantaciones se abren interesantes oportunidades para coleccionar y procesar dicha biomasa como fuente de energía.

Por su parte, con el propósito de verificar la real disponibilidad de biomasa proveniente del bosque nativo se examinaron las cifras, los antecedentes y la documentación relativa al procesamiento y operaciones madereras actuales en el bosque nativo². Entre otras actividades, se realizaron reuniones con personeros de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo, CONAF-Cooperación Alemana; de la Corporación Chilena de la Madera y con empresarios del área de la madera nativa. Se concluyó que por el momento es incierta la posibilidad de su aprovechamiento para fines de generación eléctrica.

Por el momento se aprecian oportunidades en el suministro de desechos provenientes de plantas de procesamiento destinadas a la generación de calor en pequeña o mediana escala para abastecer necesidades particulares.

Además, los residuos actuales provenientes de la industrialización del bosque nativo son exiguos, geográficamente, entre las Regiones del Bio-Bío y Aysén y, como se aprecia en la Tabla 9, su importancia es muy pequeña comparada con la de pino radiata. Es comparable con la de eucalipto, aunque en el caso de esta última especie, su destino es principalmente hacia la pulpa, por lo que su aprovechamiento industrial es mucho mayor que incluso el de pino radiata.

Dadas las condiciones antes indicadas, el presente estudio se concentrará sólo en el potencial energético proveniente de residuos de las cosechas y raleos de las plantaciones. Sin perjuicio de ello, sus resultados pueden también ser útiles para un eventual desarrollo comercial futuro de los desechos de manejo forestal del bosque nativo.

2 Producción de energía a partir de biomasa proveniente de bosque nativo. Patricio Emanuelli Avilés, Asesor Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo. CONAF-Cooperación Alemana.

3. Metodología

En el presente capítulo se presenta en forma detallada la metodología utilizada para el desarrollo del estudio. Se ha optado por apoyar la presentación utilizando una muestra de cada una de las planillas de cálculo utilizadas. Esas planillas se adjuntan como anexos a este informe (en CD-ROM).

3.1 Fuentes de información

Chile cuenta con una excelente base de estadística forestal. En lo principal dichas estadísticas son de público conocimiento a través de la publicación especializada del Instituto Forestal en la Serie Estadísticas Forestales. Además se pueden encontrar estadísticas detalladas en diversos organismos. En la tabla que se presenta a continuación se indican las instancias y organismos consultados por este estudio.

Tabla 10: Fuentes de información

Información primaria		
Instituto Forestal	Boletines estadísticos	Datos básicos
	Informes técnicos	Datos elaborados – visiones propias
	Informes especiales	Datos elaborados – encargo empresas
CORMA	Estudios específicos	Estudios encargados
CONAF	Estadísticas oficiales	Datos forestales programas propios
CONAF – GTZ	Estudios	Relevamiento de información áreas de estudio
	Informes internos	Elaboración de datos – información preparatoria
	Publicaciones	Datos e información publicada y elaborada
Empresas	Informes técnicos	Informes elaborados con datos internos
	Estudios propios	Informes elaborados con bases de datos
Instituto Geográfico Militar	Cartografía base	Mapas temáticos y mapas base
Información secundaria		
Universidad de Talca	Informes Programa Dendroenergía	Datos e información procesada en estudios
Universidad de Chile	Estudios de Dendroenergía	Datos e información procesada en estudios
Universidad Austral	Estudios de Carbono y Catastro	Datos e información procesada en estudios
Fundación Chile	Estudios de Biomasa y Energía	Datos e información proyectos
	Proyecto Simulador de Crecimiento	Base de datos y procesamiento información
PRIEN	Estudios de Biomasa y Energía	Datos e información procesada en estudios
FONDEF	Proyectos de Biomasa Energética	Base de datos proyectos de biomasa y energía

La base primaria de información para el estudio fueron las Estadísticas Forestales 2004, publicadas por el Instituto Forestal. La base secundaria, es decir información detallada requerida por el estudio era la distribución de plantaciones de pino radiata y eucalipto por clase de edad y por región - provincia - comuna para las regiones comprendidas en el

estudio, es decir de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins a la Región de Los Lagos.

3.2 Base de datos utilizada

La base de datos original se obtuvo del Instituto Forestal. En la siguiente tabla se muestra la plantilla numérica suministrada por dicho instituto con base a la información recogida por la Corporación Nacional Forestal. A modo de ejemplo, se presenta la distribución de la superficie plantada de pino radiata en seis Comunas de la Provincia de Colchagua en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Se puede apreciar que se registran las plantaciones realizadas desde 1974 o antes hasta las realizadas el año 2004, es decir, desde plantaciones mayores de 32 años hasta plantaciones que en la actualidad tienen pocos años cubriendo en consecuencia un horizonte temporal de 30 años.

Tabla 11: Estructura de la información forestal de base

Superficie (ha) de plantaciones pino radiata, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins						
Año plantación	San Fernando	Santa Cruz	Lolol	Palmilla	Peralillo	Chépica
2004	0,0	96,3	1.453,4	0,0	0,0	231,0
2003	0,0	0,0	535,7	0,0	0,0	0,0
2002	0,0	0,0	34,0	0,0	0,0	0,0
2001	19,3	0,0	197,7	0,0	0,0	0,0
2000	374,9	0,0	743,3	0,0	0,0	0,0
1999	575,2	0,0	181,4	0,0	0,0	0,0
1998	111,3	0,0	339,3	0,0	0,0	0,0
1997	0,0	0,0	94,0	0,0	0,0	0,0
1996	0,0	0,0	53,2	0,0	0,0	0,0
1995	0,0	0,0	177,4	12,9	0,0	0,0
1994	17,8	0,0	300,8	0,0	0,0	0,0
1993	0,0	0,0	62,8	0,0	23,7	0,0
1992	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1990	0,0	0,0	13,7	0,0	0,0	0,0
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1988	0,0	0,0	96,5	0,0	0,0	0,0
1987	0,0	0,0	15,2	0,0	0,0	0,0
1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1985	0,0	0,0	75,3	0,0	82,4	0,0
1984	0,0	0,0	30,9	0,0	0,0	0,0
1983	0,0	0,0	17,3	0,0	0,0	0,0
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1981	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1979	0,0	0,0	151,8	0,0	0,0	0,0
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1976	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0
1975	69,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<= 1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1.168,1	96,3	4.593,5	12,9	106,1	231,0

La base de datos sobre plantaciones contiene información para las 152 comunas comprendidas entre la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y la Región de Los Lagos, tanto para pino radiata como para eucalipto. La base de datos para pino radiata comprende la información de superficie por año desde 1974 hasta el año 2004. En el caso de eucalipto desde 1980 al 2004, es decir las plantaciones mayores de 25 años se agrupan en el último año de la serie.

3.3 Agrupación de la información

La gran dispersión de las plantaciones y la pequeña superficie plantada en muchas de las 152 comunas contempladas en la base de datos obligó a confeccionar un cuadro de superficies agregadas.

Para el propósito de agrupar la información comunal en áreas más manejables, se adquirió en el Instituto Geográfico Militar un mapa base regional y comunal sobre el cual se sobrepuso la ubicación de las plantaciones. Una vez realizada manualmente dicha operación, con la información de la base de datos original se hizo pivotar las comunas aledañas sobre la comuna que mostrara la mayor superficie de plantaciones combinada. Así se obtiene el cuadro de superficies agregadas que se muestra en la Tabla 12.

En la Tabla 12 se muestra un ejemplo de cómo se estructuró la información para su posterior análisis. En este caso, se trata de las comunas de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Puede apreciarse que en una primera instancia la información se agrupó por especie, en pino radiata y eucalipto y en cuanto al grado de competencia en áreas de influencia industrial o áreas de baja competencia donde la influencia de las facilidades industriales importantes no llega. Las comunas se agruparon conforme a estos criterios en comunas tributarias a áreas de influencia industrial o áreas sin influencia industrial. Se consideró área de influencia industrial el área cubierta por una agrupación de comunas, en una de las cuales hubiera la presencia de una industria o actividad forestal industrial principal y destacada que, por su escala de operaciones pudiera generar alta demanda y atracción por los bosques presentes en ellas. El área de baja competencia es la agrupación de comunas, que por su distancia a la industria o actividad forestal principal, la demanda o atracción por los bosques es menor o inexistente.

El concepto de áreas de influencia industrial permite en consecuencia identificar zonas plantadas desde donde las industrias existentes en el área obtienen su abastecimiento en troza y donde potencialmente pudieran ir a buscar residuos de manejo forestal para suplir sus requerimientos energéticos en instalaciones existentes y así competir por esos recursos con un posible proyecto nuevo de central de generación eléctrica.

Otro criterio de clasificación utilizado es el de agrupar comunas. La agrupación de comunas obedece a una consideración geográfica mediante la cual la agrupación se realiza en torno a la comuna que tiene la mayor superficie plantada y agrupando en torno de ella aquellas que tienen vías de comunicación expedita, o que son contiguas o tienen alguna característica de proximidad.

Tabla 12: Ejemplo de cuadro de superficies agrupadas

Región	Grado de competencia	Pino radiata				Eucalipto			
		Agrupación de comuna	Superficie desagregada	Superficie agregada	Superficie por núcleo geográfico	Agrupación de comuna	Superficie desagregada	Superficie agregada	Superficie por núcleo geográfico
VI	Influencia Industrial	Paredones	16.211			Paredones	1.842		
		Pumanque	3.594	24.399	24.399	Pumanque	872	5.244	5.244
		Lolol	4.594			Lolol	2.529		
	Baja Competencia	Navidad	420			Navidad	1.483		
		Litueche	4.605			Litueche	3.565		
		Pichilemu	23.647	35.069	35.069	Pichilemu	4.906	13.424	13.424
		La Estrella	213			La Estrella	741		
		Marchigüe	6.183			Marchigüe	2.729		
		San Fernando	1.168			San Fernando	334		
		Santa Cruz	96			Santa Cruz	77		
		Palmilla	13	2.659	2.659	Palmilla	574	1.979	1.979
		Peralillo	106			Peralillo	373		
		Chépica	231			Chépica	495		
	Placilla	1.045			Placilla	126			
	Disperso					San Vicente	62		
						Nancagua	204		
						Machali	109		
						Graneros	13		
						Mostazal	572		
						Dofihue	29		
					Coltauco	26	2.009	2.009	
					Codegua	174			
					Las Cabras	8			
					Pichidegua	210			
				Rengo	370				
				Requinoa	32				

La definición de “superficies desagregadas” se utiliza simplemente para reconocer la superficie de cada especie plantada en cada comuna individualmente, tal como está consignada en la base de datos original. Por su parte el concepto de “superficies agregadas” se refiere a la agregación o a la sumatoria de las superficies de plantación comprendida en cada agrupación de comunas. La “superficie por núcleo geográfico” en algunos casos corresponde como la superficie agregada en otros puede ser distinta dependiendo de la naturaleza de la agrupación geográfica.

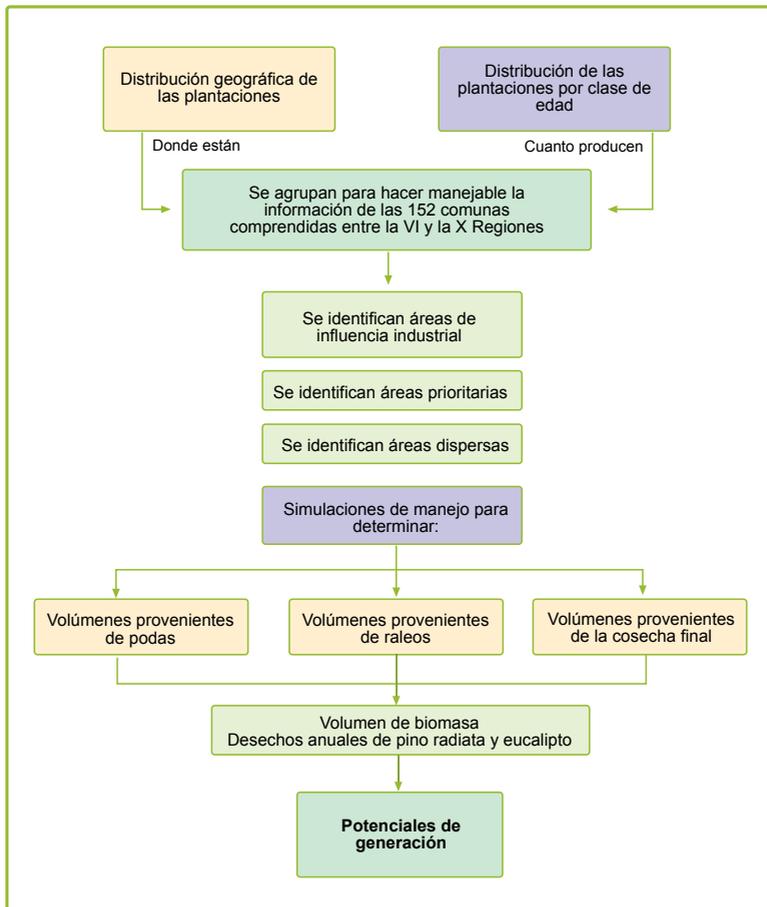
Finalmente se definió como “superficies dispersas” a las superficies de plantaciones de pequeña superficie, relativa a los tamaños de las superficies agregadas en las distintas agrupaciones comunales. Esta superficie dispersa de plantaciones difícilmente podría, por su tamaño, ser atractiva para abastecer de residuos de manejo forestal una planta, además en la mayoría de los casos por su lejanía respecto de los centros gravitaciones de mayor importancia.

El segundo paso condujo a la elaboración de un cuadro de superficies agregadas, en el que se sustituyó el concepto de áreas de alta competencia que se estimó poco preciso, por el de área de influencia industrial. Sin embargo, se identificaron otras dos áreas de interés para este estudio, áreas de baja competencia o sin influencia industrial, en las cuales en la actual situación podría probablemente obtenerse material residual en forme expedita, y áreas dispersas, en las cuales difícilmente los residuos se pudieran coleccionar en forma económica.

3.4 Procedimientos metodológicos

En el gráfico que se presenta a continuación se muestra en forma esquemática las distintas fases del estudio.

Figura 2: Esquema metodológico



Al examinar la figura anterior, es posible advertir que en el paso inmediatamente anterior a la estimación de los potenciales de generación, la metodología permite determinar los volúmenes de biomasa provenientes de los desechos anuales por el manejo y corta de los distintos rodales de pino radiata y eucalipto considerados como tributarios de las distintas zonas de origen determinadas por el análisis.

La metodología es consistente con los propósitos del estudio cual es determinar los potenciales de generación de las plantaciones forestales de acuerdo a los criterios y restricciones que se tuvieron en consideración.

3.5 Determinación de desechos

Como se señaló antes, tres son las actividades de manejo forestal que originan residuos en el caso de pino radiata: residuos de cosecha, residuos de raleo (comercial y de desecho) y residuos de poda. Cada una de estas actividades significó una estimación de volumen particular la que comprendió los siguientes conceptos y operaciones:

3.5.1 Pino radiata

a. Residuos de cosecha:

$$\text{Volumen extraído} \cdot \text{Factor de expansión} - \text{Volumen extraído} = \text{Volumen de residuos}$$

Donde:

Volumen extraído: Corresponde al volumen de cosecha estimado por el Simulador Radiata utilizando los criterios de disponibilidad³ que entrega el estudio de INFOR.

Factor de expansión: Las estimaciones de volumen de un árbol se hacen sobre la base de la madera comercial que contiene. El factor de expansión estima el volumen total del árbol incluyendo las ramas, acículas, corteza y conos, estos últimos parámetros en relaciones matemáticas con relación al volumen fustal.

b. Residuos de raleo comercial:

$$\text{Volumen extraído} \cdot \text{Factor de expansión} - \text{Volumen extraído} = \text{Volumen de residuos}$$

³ Disponibilidad de madera de plantaciones de pino radiata en Chile: 2003 – 2032. Informe Técnico N° 170. INFOR, Concepción, Julio 2005. 103 pp.

Donde:

Volumen extraído: Corresponde al volumen de raleo estimado por el Simulador Radiata utilizando los criterios de disponibilidad que entrega el estudio de INFOR.

Factor de expansión: Utilizando las relaciones matemáticas con relación al volumen fustal de los árboles extraídos.

c. Residuos de raleo a desecho:

El raleo a desecho es una intervención silvicultural temprana mediante la cual se eliminan árboles que por su corta edad no suministran aún volumen pulpable. No obstante ello, tienen suficiente biomasa como para contabilizarla como volumen para propósitos energéticos. Se contabiliza directamente el volumen extraído en el raleo de desecho.

d. Residuos de poda:

La estimación de los residuos de poda resultaron más complejos ya que el simulador de crecimiento entrega la información en kilómetros de copa removida. Para eliminar esta complicación se solicitó al simulador suministrar el volumen de copa removida en m³ estéreo. Con esa información se calculó los volúmenes de residuos de poda con la siguiente función:

$$\text{Copa removida en m}^3 \text{ estéreo} \cdot \text{Factor de transformación a m}^3 \text{ s.s.c.} = \text{Volumen de residuos de poda en m}^3 \text{ s.s.c.}$$

3.5.2 Eucalipto

Para el caso de eucalipto sólo se consideró los residuos originados en la cosecha.

$$\text{Volumen extraído} \cdot \text{Factor de expansión} - \text{Volumen extraído} = \text{Volumen de residuos}$$

Donde:

Volumen extraído: Corresponde al volumen de cosecha estimado por el Simulador Radiata utilizando los criterios de disponibilidad ⁴ que entrega el estudio de INFOR.

Factor de expansión: Las estimaciones de volumen de un árbol se hacen sobre la base de la madera comercial que contiene. El factor de expansión estima el volumen total del árbol incluyendo las ramas, hojas corteza, estos últimos parámetros en relaciones matemáticas con relación al volumen fustal.

4 Disponibilidad de madera pulpable de eucalipto en Chile: 2001 – 2018. Informe Técnico N° 163. INFOR, Valdivia, Julio 2002. 30 pp.

3.5.3 Estudios de disponibilidad

Los estudios de disponibilidad permitieron reconocer las bases de manejo y los criterios de expansión de la capacidad instalada industrial para un horizonte de tiempo que excede el horizonte del presente estudio. Estos estudios determinan los volúmenes disponibles de pino radiata y eucalipto considerando las ampliaciones industriales, no determinan los excedentes de bosques después del consumo de materia prima industrial, si no la suficiencia de recursos para abastecerlos.

3.5.4 Simulación de los esquemas de manejo

Con el objeto de determinar los volúmenes de materia prima industrial a través de la corta, raleos y podas, así como los niveles de residuos generados por las podas se contrató con el modelo de simulación de crecimiento de pino radiata y eucalipto, las corridas necesarias para el conjunto de áreas de influencia industrial y áreas atractivas. Las áreas dispersas no se simularon por la alta improbabilidad que en ellas se extraiga material.

Se realizó un total de 46 simulaciones para el conjunto de áreas tomando como base las áreas determinadas en la planilla de superficies agregadas, esto permitió generar los siguientes cuadros:

- Cosecha pino: Volumen de pino cosechado en el horizonte 2006 - 2017
- Cosecha eucalipto: Volumen de eucalipto cosechado en el horizonte 2006 - 2017
- Raleos comerciales: Volumen extraído de pino por raleos comerciales en el horizonte 2006 - 2017
- Raleos de desecho: Volumen extraído de pino por raleos de desecho en el horizonte 2006 - 2017
- Copa removida: Volumen de las ramas de pino podado
- Volumen podado: Necesario para determinar el volumen de residuos generados por la poda.

Esta información es la base para las estimaciones del potencial energético que se analiza en el próximo capítulo.

4. Potencial teórico para la generación eléctrica a partir de residuos leñosos en Chile

De los capítulos anteriores se puede colegir que la opción de generar electricidad a partir de biomasa forestal proveniente de residuos de manejo forestal es potencialmente muy atractiva. Hasta aquí ello sólo se anticipa al considerar los volúmenes de residuos generados por el aprovechamiento de las masas boscosas de plantaciones.

Con el objeto de distinguir entre el potencial real de generación eléctrica que pueda estimarse de un estudio de pre-factibilidad y esta aproximación preliminar, se ha optado por denominar el potencial de generación estimado en este caso como potencial teórico de generación.

Como potencial teórico se define la cantidad de energía contenida por toda la biomasa disponible para generación, en condiciones teóricas de humedad y de poder calorífico de la biomasa. Para calcular este valor, se utilizó un factor de aprovechamiento de la biomasa de 75%. Este factor proviene de la necesidad de mantener al menos una cuarta parte de los residuos en el bosque para asegurar buenas condiciones de suelos para el manejo forestal.

El potencial técnico para la generación de energía eléctrica se obtiene aplicando los factores de eficiencia en la conversión de la energía contenida en la biomasa en energía eléctrica (eficiencias de combustión, generación de vapor, generación de energía eléctrica).

4.1 Integración de residuos

Se preparó un cuadro de disponibilidad de residuos, en el que se resume la disponibilidad de residuos de pino radiata y eucalipto por región y comuna para el área comprendida en el estudio. Este cuadro entrega la siguiente información que cubre desde la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins a la Región de Los Lagos:

Residuos de pino radiata:

- Cosecha
- Raleo desecho
- Raleo comercial
- Poda

Residuos de eucalipto :

- Cosecha

En la Tabla 13 se presenta un ejemplo de la forma como se integra los volúmenes provenientes de las distintas actividades de manejo. En este caso se trata de las comunas

que se ubican en al ámbito de la influencia industrial en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. En el caso de pino radiata provienen de cuatro distintas fuentes (cosecha – raleo a desecho – raleo comercial – poda). En el caso de eucalipto se trata de los desechos provenientes sólo de la cosecha. Se comprenderá que estos son los resultados de la simulación de cuanta madera se puede obtener de los desechos por actividades de manejo forestal. Esta información es básica para el cálculo del potencial energético.

La integración de residuos de manejo forestal se realizó para las 128 comunas en las cuales no se ubican plantaciones dispersas. En general se puede observar que las plantaciones dispersas se localizan en la Región de la Araucanía y las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos. En el caso de la Región de la Araucanía las plantaciones dispersas se ubican próximas a los pies de los Andes en tanto que en las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos principalmente en las Provincias de Llanquihue y Chiloé.

**Tabla 13: Ejemplo de cuadro integración de residuos
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins**

Área: Influencia industrial; Comunas: Paredones, Pumanque y Lolol							
Año	Residuos de pino radiata				Residuos pino	Residuos eucalipto	Total residuos
	Cosecha	Raleo desecho	Raleo comercial	Poda			
	m ³ s.s.c.						
2006	137	5	32	14	187	11	198
2007	136	3	32	22	197	16	214
2008	136	3	35	19	176	26	203
2009	136	1	18	20	164	26	190
2010	137	1	6	14	179	27	207
2011	137		27	15	194	27	222
2012	137	1	42	6	177	27	204
2013	137		32	4	172	27	200
2014	137		31	3	161	27	188
2015	137		20	4	147	27	175
2016	134		6	0	145	27	173
2017	134		11	0	144	27	171

El análisis de las cifras contenidas en la tabla anterior pone de manifiesto que los residuos de cosecha en el caso de pino radiata son los más relevantes del conjunto, en general para todas las comunas y regiones consideradas. Sin alcanzar la cuantía de pino radiata, el eucalipto potencia la disponibilidad energética de los residuos forestales. Estas proporciones varían ciertamente con la distribución de las edades y la composición de la superficie plantada.

4.2 Determinación del potencial energético

En la Tabla 14 se presentan los parámetros básicos con los cuales se prepararon los cuadros de potencial energético.

Tabla 14: Parámetros para el cálculo energético

Concepto	Factor	Unidad
Contenido calórico madera pino radiata	2.150	kcal/kg
Peso verde madera pino radiata	810	kg/m ³
Contenido calórico madera eucalipto	2.300	kcal/kg
Peso verde madera eucalipto	1.180	kg/m ³
Potencial energético	275	kWh/Gcal

Fuente: Manual Maderas, CORMA. José Bertrán, estudios

Para los efectos de transporte y potencial calórico de la madera se tuvo en consideración que el material que se recogerá en el terreno después de las faenas de manejo pertinentes, es material esencialmente verde, con contenidos de humedad superiores al punto de saturación de las fibras, por lo cual se adoptaron las cifras de peso de madera verde.

En cuanto al potencial calórico de la madera, no obstante las variaciones entre especies no son muy amplias, se adoptaron cifras más bien cercanas al límite inferior.

Con la información de volumen de desecho por especie fue posible construir los cuadros del potencial energético. Para ello se calculó primero la energía calórica en gigacalorías atribuibles a pino radiata y a eucalipto separadamente y luego a partir de esas cifras la energía eléctrica en MWh atribuibles a cada especie.

Los MWh atribuibles a cada especie y total se determinaron de la siguiente forma:

$$MWh_e = Gcal \cdot 1,163 \frac{MWh}{Gcal} \cdot FA \cdot \eta_e$$

Donde:

- Gcal: Corresponde al contenido de energía calórico del volumen determinado de residuos de cada especie (gigacalorías).
- η_e : Eficiencia eléctrica de centrales generadoras con tecnología tradicional de 23,7%.
- FA: Factor de aprovechamiento de los residuos (75%). Supone mantener una cuarta parte de los residuos en el bosque para asegurar buenas condiciones de suelos.

275 kWh/Gcal: Este parámetro es el potencial energético efectivo de la materia prima que recibirían las plantas de generación eléctrica en base a residuos madereros con humedades cercanas al 50% en base húmeda, e incluye una eficiencia de centrales generadoras con tecnología tradicional de 24%.

De esta forma:

$$MWh_e = Gcal \cdot 1,163 \frac{MWh}{Gcal} \cdot 0,75 \cdot 0,237$$

4.3 Estimación de la potencia instalable factible

Sobre el cuadro “Resumen Potencial Energético” se realizaron las operaciones que se definen a continuación, para obtener la información cuyo formato se presenta en la Tabla 15.

$$\frac{\text{Sumatoria } MWh_e}{8.400} = \text{Potencia Instalable Teórica}$$

Donde:

Sumatoria MWh_e : Corresponde al potencial de generación eléctrica del volumen determinado de cada especie.

8.400: El número de horas anuales de operación probable, asumiendo detenciones sólo para mantenimiento (100% de despacho).

Una vez determinada la potencia instalable teórica, se procedió a determinar la potencia factible de instalarse, reconociendo el hecho que, del total de residuos disponibles (esto es, del 75% de los residuos) sólo una parte de ellos serán finalmente utilizados para generación eléctrica. De esta forma, se realizó el cálculo:

$$\text{Potencia Instalable Factible} = \text{Potencia Instalable Teórica} \cdot \text{Factor de Utilización}$$

Este Factor de Utilización refleja el porcentaje de biomasa que se estima viable de utilizar para generación, considerando otras limitaciones que no permitirán recuperar, a costos razonables, biomasa disponible por ejemplo en predios con dificultades de acceso así como eventuales usos alternativos para los residuos. Se utilizó un porcentaje de 50% de utilización como mínimo y de 75% como máximo.

**Tabla 15: Potencia instalable teórica y potencia instalable factible
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins**

Año	Área: Pichilemu; Comunas: Navidad, Litueche, Pichilemu, La Estrella y Marchigüe					
				Potencia instalable	50%	75%
	Pino radiata	Eucalipto	Total		Potencia factible	
	MWh _e	MWh _e	MWh _e	teórica	mín.	máx.
2006	145.096	45.714	143.107	17,0	8,5	12,8
2007	144.309	60.081	153.292	18,2	9,1	13,7
2008	136.207	60.081	147.216	17,5	8,8	13,1
2009	128.697	60.081	141.584	16,9	8,4	12,6
2010	138.417	60.081	148.873	17,7	8,9	13,3
2011	149.319	60.081	157.050	18,7	9,3	14,0
2012	146.487	60.081	154.926	18,4	9,2	13,8
2013	141.047	60.081	150.846	18,0	9,0	13,5
2014	136.823	60.081	147.678	17,6	8,8	13,2
2015	132.483	60.081	144.423	17,2	8,6	12,9
2016	127.288	60.081	140.527	16,7	8,4	12,5
2017	123.533	60.081	137.711	16,4	8,2	12,3
				Mín.	8,2	12,3

En la tabla a continuación se muestran los valores obtenidos de potencia instalable factible mínima y máxima para todas las regiones. Estos valores consideran el valor mínimo para el período 2006 – 2017.

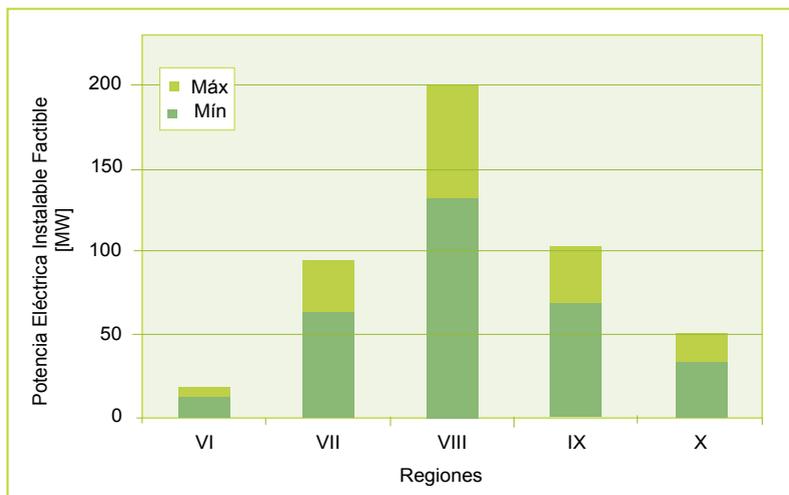
Tabla 16: Potencia instalable factible por regiones

Región	Potencia instalable factible [MW]	
	Mínima	Máxima
VI	13	19
VII	63	95
VIII	133	199
IX	68	103
X	36	53
Total	313	469

Para los efectos de la tabla, X Región representa a las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos.

En la Figura 3 se muestra la potencia instalable factible por regiones, esta potencia está directamente relacionada con la superficie forestada.

Figura 3: Distribución potencia instalable factible por regiones Chile - 2006



Para los efectos de la figura, X Región representa a las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos.

La Región del Bío-Bío es seguida de sus regiones aledañas al sur y al norte la que aportaría el potencial más alto de generación eléctrica con biomasa forestal. La Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, de entre las regiones seleccionadas, es la que menor contribución hace al potencial de generación. Las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos, aunque pequeñas, ofrecen una razonable posibilidad de explicar una planta de generación a partir de biomasa, especialmente en la Provincia de Valdivia.

Si bien la Región del Bío-Bío es la que posee el mayor potencial energético, es también aquella donde prevalece y se ubican las mayores extensiones de bosques y donde las grandes compañías tienen instaladas sus plantas de pulpa, papel, aserraderos o tableros haciéndola en algo más de 71% una región preeminentemente de influencia industrial, lo cual en cierta forma se considera como una limitación al emprendimiento de proyectos de generación eléctrica independientes.

La situación en las otras regiones es algo diferente. En la Región del Maule las áreas de mediana y baja influencia industrial, se limitan a un 30% de la superficie, en las Regiones de la Araucanía y de Los Ríos y de Los Lagos la participación de estas áreas se incrementa significativamente. En la Región de la Araucanía representan el 50% compartiendo la superficie con el área de influencia industrial que se sitúa preferentemente en la parte norte de la Región especialmente en el sector del valle central. En las Regiones de Los Ríos y de Los Lagos sólo el 25% de la superficie tiene influencia industrial, por lo cual hace que el 75% restante que son áreas de baja influencia industrial, presentará interesantes opciones para la instalación de centrales de generación eléctrica que utilicen como combustible la biomasa forestal.

4.4 Costo de disponibilidad

La información sobre potencia teórica y probable, sin embargo, no es el factor clave para determinar la “localización” de un proyecto de generación. El costo de disponibilidad de la biomasa proveniente de las actividades forestales, en conjunto con la información de potencia probable serán las principales variables de decisión para el emplazamiento de un proyecto de generación eléctrica.

Con ese propósito, se ha preparado la información del costo de disponibilidad, cuyo formato se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17: Presentación de resultados – Costo de disponibilidad

Centro de gravedad zona								
Región	Comuna principal	Comunas aledañas	Superficie plantada	Distancia a comuna principal	Costo medio de transporte	Costo acanche y carguío	Costo de mulching	Costo total
			ha	km	0,2144 US\$/km/TM	2,49 US\$/TM	7.07 US\$/TM	US\$/TM
VI	Influencia industrial	Pumanque	18.054	75	16,08	2,49	7.07	25.64
		Licantén	Lolol	4.467	25	5,36	2,49	7.07
	Paredones		7.123	25	5,36	2,49	7.07	14.92
	Pichilemu	Navidad	1.903	30	6,43	2,49	7.07	15.99
		Pichilemu	8.171	20	4,29	2,49	7.07	13.85
		Litueche	28.553	25	5,36	2,49	7.07	14.92
		La Estrella	954	64	13,72	2,49	7.07	23.28
	Marchigüe	8.912	20	4,29	2,49	7.07	13.85	

La información del costo de disponibilidad está conformada por la consideración de tres elementos de costo:

- El costo de acanche, es decir de ordenación de los residuos después de la faena para prepararlos para el carguío y el posterior “picado” o mulching.
- Costo del picado o mulching que para los efectos del presente estudio se considera que será realizada con una máquina de tamaño medio y que se encuentra disponible en el mercado.
- Costo de transporte desde el centro de gravedad de la comuna pivote a los centros de gravedad de las comunas tributarias.

En las tablas que se presentan a continuación se detallan los procedimientos y parámetros de cálculo considerados.

Tabla 18: Costo de acanche

Volumen promedio cosecha m ³ /ha	454,00
Residuos promedio m ³ s.s.c. por ha	169,20
% Recuperación de desechos	0,60
Costo del acanche \$/ha	233
TM/ha	93,50
Costo acanche en US\$/TM	2,49

Nota: Se ha estimado un 60% como factor de recuperación de desechos en virtud de la experiencia recogida por los operadores forestales consultados.

TM: Tonelada métrica.

Tabla 19: Costo de mulching

	Valor	US\$/h
Producción: TM/hr	50	
Valor de la maquina US\$	650.000	
Vida útil: hrs	26.280	
Valor residual US\$	65.000	
Amortización		22,26
Costo de capital al 12%	158.096,72	1,00
Costo operación: combustible, lubricantes y mantenimiento	173,21	173,21
Operadores: costo mensual	1.782,95	5,94
Ayudantes: costo mensual	813,95	2,71
Cargador frontal de apoyo		60,00
Costo total / hr		263,91
Rendimiento operación: 0,75		37,5
Costo del mulching en US\$/TM		7,07

Fuente: Catalogo de las maquinarias consideradas, sugerencias del proveedor y consultas a operadores y contratistas forestales

En la tabla que se presenta a continuación se despliegan los factores y elementos de costo considerados en el transporte del mulch o material particulado a la planta de procesamiento.

Tabla 20: Costo de transporte

Capacidad del camión m ³ estereos	80,00
Capacidad del camión m ³ s.s.c	32,92
Carga madera verde en TM	20,7
Costo transporte madera US\$/km	3,00
Costo transporte en US\$/TM/km	0,145

Fuente: Consultas a operadores y contratistas forestales

Como se podrá concluir del análisis de la información contenida en la Tabla 20, el costo de transporte es el más gravitante. Los costos del acanche y picado aparecen como costos prácticamente fijos. En cuanto al mulching, el costo pudiera variar de acuerdo a las dimensiones de los residuos que se procesen y la maquinaria que se use.

Con la información procesada de la forma que se ha señalado, se prepararon posteriormente los mapas que se presentan en el Anexo 2 Cartografía.

En resumen, y sin considerar el costo de materia prima, la cual sólo tendrá valor en caso que él o los proyectos que se desarrollen puedan pagar por el combustible además de los costos descritos, se tendrá para distancias de transporte promedio entre 30 a 60 km un costo de la biomasa puesta en la central de generación entre 15,0 y 20,0 US\$ por tonelada, lo que implicará un costo variable del combustible entre 25,0 y 35,0 US\$/MWh.

La competitividad de este tipo de centrales de generación eléctrica, dependerá también del tamaño de ésta, por la importancia que tienen los costos fijos en este tipo de instalaciones. A continuación se presenta una tabla resumen de los precios de equilibrio que permitirían el desarrollo de este tipo de proyectos.

Tabla 21: Precios monómicos de equilibrio para diferentes tamaños de centrales

Costo combustibles US\$/ton	Potencia instalada central/ Precio monómico equilibrio			
	5MW US\$/MWh	10MW US\$/MWh	15MW US\$/MWh	20MW US\$/MWh
15,0	81,9	70,4	66,4	63,2
20,0	91,3	79,7	75,7	72,5

Estos valores corresponden al precio mínimo que deberá tener la energía eléctrica vendida para asegurar la rentabilidad del proyecto, considerando en este caso todos los costos de generación, es decir, los costos variables más todos los costos fijos y de capital.

En estos valores no se ha incluido el beneficio por reducción de emisiones de CO₂, lo cual podría reducirlos entre 4 a 8 US\$/MWh, en caso que los proyectos tuvieran la posibilidad de venta de Bonos de Carbono entre 5 y 10 US\$/ton de CO₂, durante toda su vida útil.

5. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos por este estudio, se concluye que, a nivel nacional, el potencial de generación a partir de biomasa residual procedente del manejo de bosques plantados puede estimarse en un nivel de entre los 310 y 470 MW de potencia eléctrica instalable (considerando fracciones mínima y máxima de utilización de 50 y 75% respectivamente).

Ese potencial se encuentra concentrado en las Regiones del Maule, del Bio-Bío y de la Araucanía, que son aquellas en las que se desarrolla la mayor parte de la industria forestal del país y donde se concentra la mayor cantidad de superficies de plantaciones forestales.

Los efectos de economías de escala hacen presumir que plantas de generación eléctrica a partir de biomasa forestal pueden resultar interesantes, desde el punto de vista económico privado, para una potencia cercana a los 10 MW o superiores.

Por su parte, se ha estimado un costo de disponibilidad de los residuos del manejo forestal de entre 15 a 20 US\$/ton, comprendiendo en ello, los costos de apilado o recolección, del proceso de picado o "mulching", y el transporte a la planta de generación.

Sin considerar eventuales egresos por compra de residuos, el costo de disponibilidad de ese tipo de combustible resultaría en un costo variable del combustible de entre los 25 y 35 US\$/MWh, considerando biomasa proveniente de distancias medias de transporte de entre 30 y 60 kilómetros. Con todo, los precios monómicos de equilibrio para proyectos con biomasa forestal estarían comprendidos entre los 63 y los 80 US\$/MWh para tamaños de planta de 20 y 10 MW respectivamente, sin considerar posibles ingresos por venta de bonos de carbono.

La utilización de los residuos de manejo de bosques plantados para la generación energética podría eventualmente generar un mercado para este tipo de residuos. Sin embargo, en condiciones normales del mercado energético, precios superiores a los costos estimados para la biomasa provocarían la salida del mercado de las centrales de biomasa y con ello una baja en la demanda por el residuo, generándose de ésta manera una regulación en torno al precio de equilibrio cercano al valor estimado para los costos de disponibilidad de la biomasa.

Por su parte, en condiciones normales del mercado energético, el valor económico de los residuos de manejo forestal se moverá en el rango de los costos de disponibilidad, por lo que podría existir escaso margen para la generación de utilidades por la venta de dichos residuos. Dado ello, es posible que hayan pocos interesados en desarrollar proyectos de generación de energía eléctrica que no tengan acceso directo (en calidad de propietarios) de la biomasa, pues no estarán dispuestos a pagar por el combustible precios mucho

mayores a los costos de disponibilidad. Por esa razón, es posible que el desarrollo de proyectos de generación eléctrica a partir de residuos del manejo forestal requiera la intervención, en calidad de propietarios o participantes directos, de empresas del rubro forestal y/o maderero.

Anexos

Anexo 1: Glosario y Abreviaciones

Aserrín	Residuo de la industrialización de la madera generado por las sierras.
Aserrín seco	Residuo de la industrialización de la madera generado por las sierras proveniente del procesamiento de madera seca. Alternativamente aserrín almacenado por mucho tiempo no expuesto a la intemperie.
Aserrín verde	O simplemente aserrín, es el residuo de la industrialización de la madera generado por las sierras proveniente del procesamiento de trozas o de madera verde. Alternativamente aserrín almacenado por mucho tiempo expuesto a la intemperie.
Astillas	También conocidas ampliamente como chips o wood chips. Subproducto de la madera generado por el picado de trozas o residuos de madera.
Blank	Nombre genérico dado a un trozo de madera remanufacturado de madera de medidas específicas, exportables y crecientemente utilizadas en el país como materia prima en la fabricación de elaborados de madera y muebles.
Block	Nombre genérico dado a un trozo de madera remanufacturas de madera de medidas aleatorias, exportables y crecientemente utilizadas en el país como materia prima en la fabricación de elaborados de madera y muebles.
Cantonera	Residuo del aserrío de la madera, corresponde al corte lateral de un tablón para eliminar una arista faltante o para escuadrar una pieza de madera.
CNE	Comisión Nacional de Energía
CONAF	Corporación Nacional Forestal
CORMA	Corporación Chilena de la Madera
Corteza	Residuo del procesamiento de los trozos, que corresponde a la cáscara que recubre superficialmente las trozas de madera de árboles sin procesar.
Cut Stock	Nombre genérico dado a trozos de madera procesados a una misma escuadría pero a largos aleatorios. Remanufactura de madera exportable y crecientemente utilizada en el país como materia prima en la fabricación de elaborados de madera y muebles.

Despunte	Residuo del aserrío o del procesamiento de la madera aserrada, corresponde a un corte transversal en una o en ambas puntas de una pieza de madera destinada a determinar el largo de una pieza de madera.
FONDEF	Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (Cooperación técnica alemana)
IGM	Instituto Geográfico Militar
INFOR	Instituto Forestal
IPCC	International Panel on Climate Change. Panel Internacional para el Cambio Climático
Krummholz	Bosque retorcido y bajo que crece en el límite altitudinal o en condiciones ecológicas adversas.
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> : Planchas de madera fabricadas a base de fibra de madera densificada
OSB	<i>Oriented Strand Board</i> : Planchas de madera fabricadas a base de virutas gruesas de madera orientadas en el plano de la plancha y material aglomerante
Poda	Intervención silvicultural intermedia, destinada a eliminar ramas de árboles en pie y que origina residuos en el bosque.
Polvo de lija	Residuo del procesamiento de maderas, paneles o tableros originado por el lijado de piezas o estructuras de madera.
PRIEN	Programa de Estudios e Investigaciones en Energía, Universidad de Chile
Raleo comercial	Intervención silvicultural intermedia, destinada a extraer árboles en pie con el objeto de favorecer los árboles mas promisorios, originando usualmente materia prima pulpable destinada a la industria de la pulpa o los tableros y ocasionalmente madera aserrable.
Raleo a desecho	Intervención silvicultural intermedia, destinada a extraer árboles en pie con el objeto de favorecer los árboles mas promisorios. Realizada a temprana edad y que no produce materia prima industrial pero si residuos en el bosque.
s.s.c.	Sólido sin corteza
Tala rasa	Intervención silvicultural de corta y regeneración del rodal mediante la cual se extrae simultáneamente toda la masa arbórea de un rodal o un confín.

Tapa	Residuo maderero originado por el primer corte de una sierra en la parte lateral de un trozo, mediante la cual se origina una pieza de madera de una cara plana y otra curva.
TM	Tonelada métrica
Virutas	Residuo maderero originado por el cepillado o viruteado de la madera. Corresponde a trocitos u hojuelas muy delgados de madera, que normalmente se enroscan como consecuencia de la estructura de la madera.

Denominación de Regiones

Región I	Región de Tarapacá
Región II	Región de Antofagasta
Región III	Región de Atacama
Región IV	Región de Coquimbo
Región V	Región de Valparaíso
Región VI	Región del Libertador Bernardo O'Higgins
Región VII	Región del Maule
Región VIII	Región del Bío-Bío
Región IX	Región de la Araucanía
Región X	Regiones de Los Ríos y de Los Lagos
Región XI	Región Aysén del General Carlos Ibañez
Región XII	Región de Magallanes y de la Antártica Chilena

Anexo 2: Cartografía de la zona de estudio

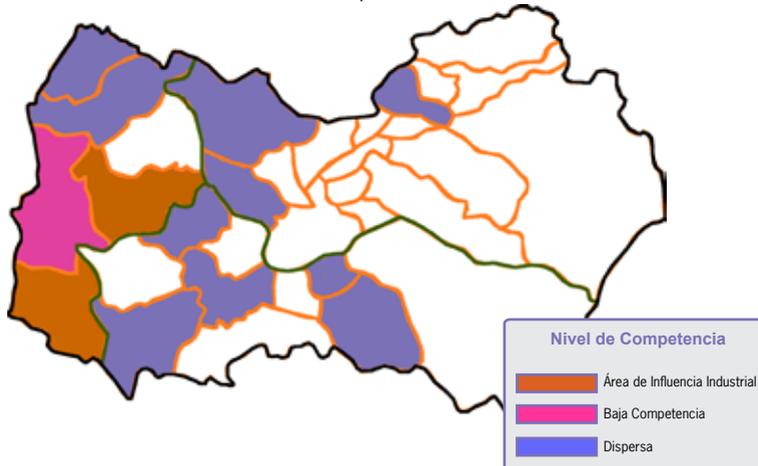
A continuación se presenta un conjunto de mapas que muestran las áreas forestales de las regiones que abarca el estudio (Región del Libertador General Bernardo O'Higgins hasta la Provincia de Llanquihue en la Región de Los Lagos sur). Los mapas además permiten visualizar las áreas de alta, media y baja competencia en términos del grado de influencia industrial respecto de las potenciales existentes para el uso de la biomasa forestal.

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

Provincias – Plantaciones forestales

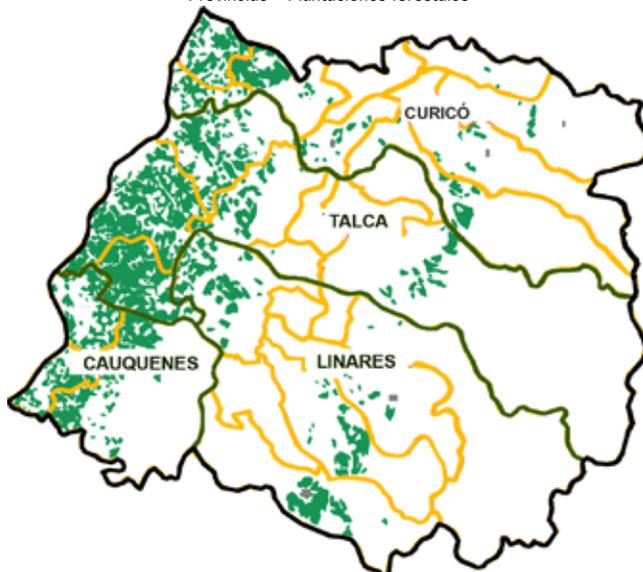


Áreas de Competencia

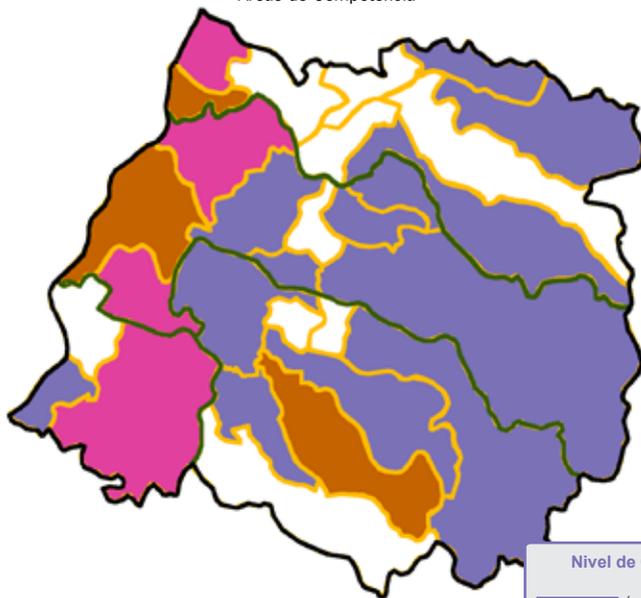


Región del Maule

Provincias – Plantaciones forestales



Áreas de Competencia

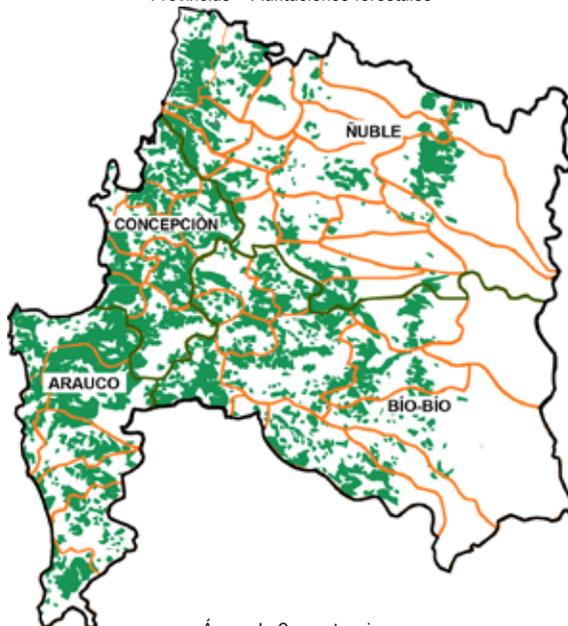


Nivel de Competencia

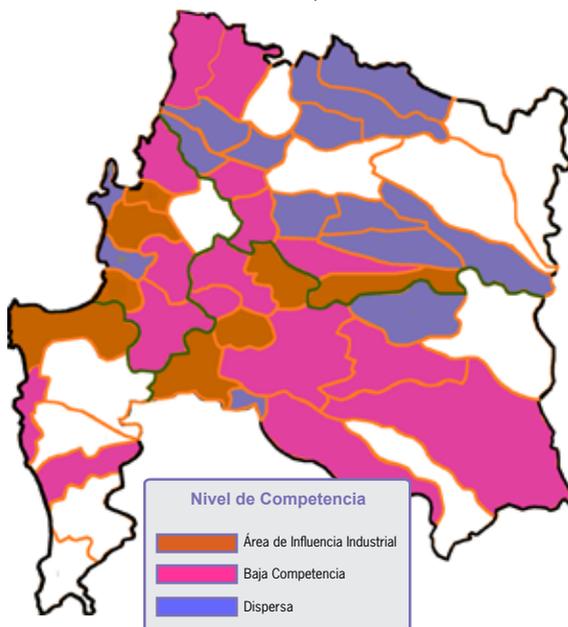
- Área de Influencia Industrial
- Baja Competencia
- Dispersa

Región del Bío-Bío

Provincias – Plantaciones forestales

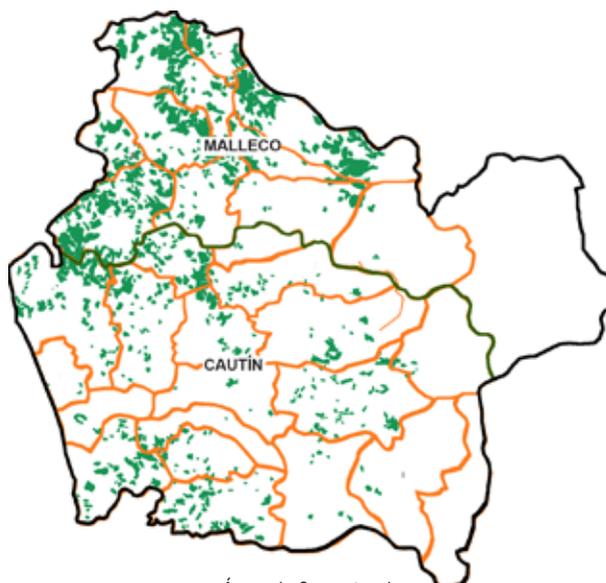


Áreas de Competencia

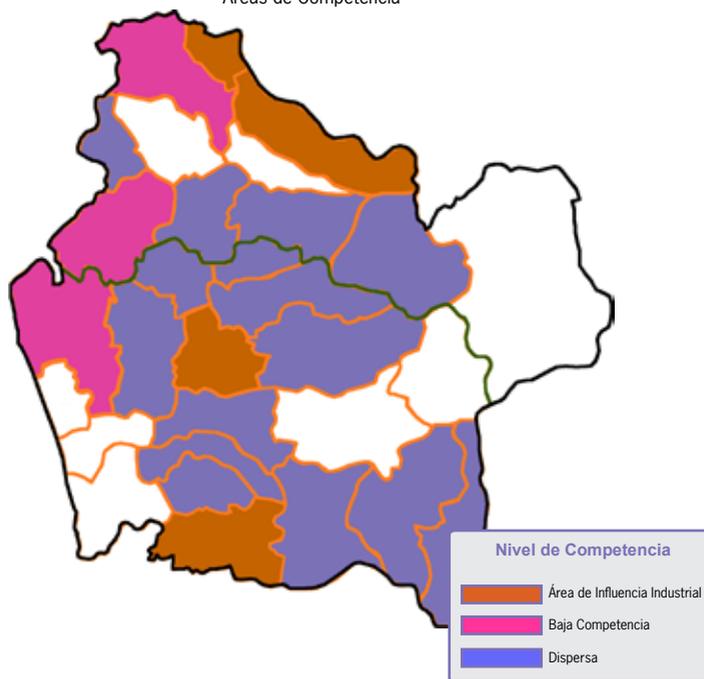


Región de la Araucanía

Provincias – Plantaciones forestales

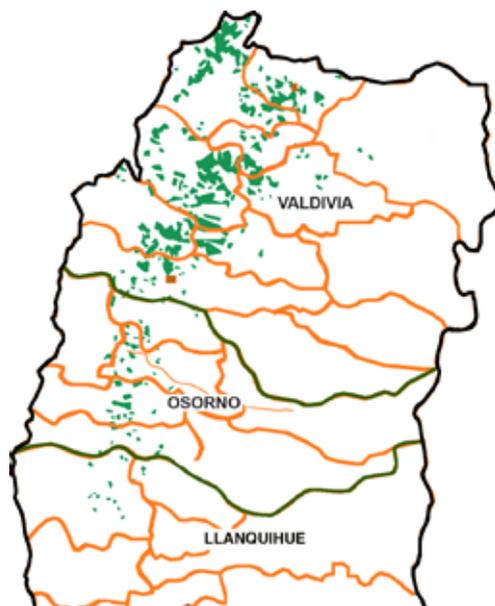


Áreas de Competencia



Regiones de Los Ríos y de Los Lagos

Provincias – Plantaciones forestales



Áreas de Competencia

