

BES | Nº 11 | AÑO 6
ENERO 2020



CONSUMO DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DE LA MADERA EN LA REGIÓN DE O'HIGGINS

El desconocido rol de frutales y viñas en el abastecimiento regional de energía

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Informes BES | Número 11 | Año 06 | ene. 2020

Producción y diagramación: Luz Díaz V., Arquitecta, Investigadora Instituto Forestal **Editor general:** René Reyes, Ingeniero Forestal (Ph.D), Investigador Instituto Forestal **Comité editor:** Alejandro González, Instituto Andino-Patagónico de tecnologías biológicas y geoambientales (IPATEC), CONICET y Universidad Nacional de Comahue, Bariloche, Argentina. **Colaboradores:** Catalina Zumaeta, Geógrafa, Investigadora Instituto Forestal, Richard Velásquez, Periodista Instituto Forestal.

UNA PUBLICACIÓN:



OCDM | OBSERVATORIO DE
LOS COMBUSTIBLES
DERIVADOS DE LA
MADERA



Instituto Forestal
Sucre 2397 Ñuñoa
Santiago, Chile
Fono. +56 2 23669115

www.infor.cl

ISSN: 0719-7136

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Reyes, R., Sanhueza, R., Schueftan, A. 2020. Consumo de combustibles derivados de la madera en la región de O'Higgins: El desconocido rol de frutales y viñas en el abastecimiento regional de energía. En: Informes técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 6. N° 11. Enero 2020. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. 17 p.

índice

03 RESUMEN

04 1. INTRODUCCIÓN

05 2. MÉTODOS

09 3. RESULTADOS

12 4. CONCLUSIONES

16 5. REFERENCIAS

17 6. ANEXOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DE LA MADERA EN LA REGIÓN DE O'HIGGINS: EL DESCONOCIDO ROL DE FRUTALES Y VIÑAS EN EL ABASTECIMIENTO REGIONAL DE ENERGÍA

René Reyes¹, Rafael Sanhueza¹ y Alejandra Schueftan¹.
¹Instituto Forestal, sede Valdivia, Chile

Email:
rreyes@infor.cl

RESUMEN

La región de O'Higgins cuenta con poca información sobre el consumo de combustibles derivados de la madera. El último estudio disponible estimó un consumo de leña de 334.274 m³ sólidos/año (consumo del año 2014), volumen muy inferior a lo estimado previamente. Con la finalidad de actualizar las cifras sobre consumo de leña y otros combustibles derivados de la madera se llevó a cabo una investigación, en el marco de la cual se aplicaron encuestas en los sectores residencial urbano, residencial rural y público, y se analizó la Encuesta Nacional Industrial Anual para cubrir el sector industrial. En el caso del sector residencial urbano, el muestreo consideró tres estratos: ciudades grandes, ciudades intermedias y ciudades pequeñas. Los resultados muestran que en 2018 la región de O'Higgins consumió 437.555 m³ sólidos de leña (324.187 toneladas), 85.943 m³ sólidos de desechos forestales (62.738 toneladas) utilizados en aserraderos (aserrín, lampazos, etc.), 16.900 m³ sólidos de madera para producir carbón vegetal (12.337 toneladas/año) y 3.562 toneladas de pellets. El 53% de la leña se consume en el sector residencial rural, el 44% en el sector residencial urbano y el 3% en el sector industrial manufacturero. En áreas urbanas, el 95% de la leña corresponde a especies exóticas (50% eucaliptus, 37% frutales y 8% otras exóticas), el 4% a madera de desecho y sólo el 1% a maderas nativas, mientras que en el sector rural, el 90% de la leña corresponde a especies exóticas (35% frutales, 33% eucaliptus y 22% otras exóticas), el 3% a madera de desecho y el 7% a maderas nativas. Los porcentajes muestran que frutales y viñas juegan un rol muy importante en el abastecimiento energético regional (biomasa de desecho). En el sector residencial urbano, la leña provee el 22% del consumo final de energía, siendo superada por el gas licuado (43%) y la electricidad (26%), mientras que en el sector residencial rural, la leña provee el 62% del consumo final de energía, siendo el combustible más relevante. En el gradiente rural-urbano, y dentro de este último desde ciudades pequeñas a grandes, disminuye la penetración de leña y carbón vegetal y aumenta la de pellets y energía solar.

Palabras clave | leña, energía, calefacción, bosque nativo, región de O'Higgins.



Imagen 1.

Formaciones de *Acacia caven* en la región de O'Higgins y producción de carbón vegetal.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al último Balance Nacional de Energía, la biomasa y en especial los combustibles derivados de la madera (CDM) satisfacen el 24% del consumo de energía primaria en Chile, constituyéndose en la segunda fuente de energía más importante después del petróleo (Ministerio de Energía, 2016). Sin embargo, a pesar de su importancia, los CDM no tienen reconocimiento legal, razón por la cual no existen normas que regulen su producción, comercialización y consumo, ni instituciones encargadas de monitorear el mercado y mantener estadísticas.

Una de las consecuencias más importantes de esta situación es la falta de claridad con respecto a las cifras. Durante las últimas tres décadas se han realizado tres

estudios sobre el consumo nacional de leña y otros combustibles derivados de la madera, los que presentan diferencias importantes en términos metodológicos y de sus resultados. El primer estudio lo realizó INFOR (1994) en base a un muestreo realizado en 1992, estimando un consumo nacional de leña de 9,6 millones de m³ sólidos¹. Posteriormente, Gómez-Lobo et al (2006) y CDT (2015) estimaron un consumo nacional de leña de 14,8 millones y 7,5 millones de m³ sólidos, respectivamente.

En la región de O'Higgins, INFOR (1994) estimó un consumo de leña de 1.191.561 m³ sólidos/año, los que se distribuían de la siguiente forma: 767.361 m³ sólidos/año utilizados en el sector residencial rural, 240.000 m³ sólidos/año en el

sector residencial urbano, 180.600 m³ sólidos/año en el sector industrial y 3.600 m³ sólidos/año en el sector comercial y público. En 1992 el 64% de las viviendas de la región consumían leña (91% en el sector rural y 48% en el sector urbano) a un promedio de 6,2 m³ sólidos/vivienda/año (7,8 y 3,9 m³ sólidos/vivienda/año en el sector rural y urbano, respectivamente).

22 años después, CDT (2015) estimó un consumo regional de leña de 334.274 m³ sólidos/año, de los cuales 333.364 m³ sólidos/año correspondían al sector residencial (incluye rural y urbano), lo que representa una disminución significativa del consumo de leña. De acuerdo al mismo autor, el 53% de las viviendas de la región consumían leña a un promedio de 2,24 m³ sólidos/vivienda/año.

¹ En este documento 1 metro cúbico sólido de leña o desechos forestales se estandarizó en 730 kilos.

Las diferencias que existen entre las cifras de 1992 y 2014 despiertan serias dudas, toda vez que la población regional aumentó en dicho periodo. En áreas rurales el aumento fue del 25%, y en áreas urbanas se más que duplicó. En ese contexto, el presente artículo tiene por finalidad evaluar el consumo actual de leña y otros CDM en la región de O'Higgins para contribuir a mejorar las estimaciones disponibles. Para esto se realizó un muestreo aleatorio simple en los sectores residencial (urbano y rural) y público, y se utilizó la Encuesta Nacional Industrial Anual para estimar el consumo del sector industrial manufacturero. En el sector residencial se aplicaron encuestas presenciales, mientras que en el sector público se encuestó telefónicamente a municipios y hospitales. El sector comercial no fue considerado en este estudio, debido a limitaciones presupuestarias.

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La región de O'Higgins se encuentra entre los 34°00' y 34°43' latitud sur, y es una de las quince regiones administrativas de Chile (Figura 1). La región tiene una superficie de 16.387 km², los cuales están divididos en cuatro unidades fisiográficas: Planicies Litorales, Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de Los Andes. La región de O'Higgins limita por el norte con la región Metropolitana, por el sur con la región del Maule, por el este con Argentina y por el oeste con el Océano Pacífico. Esta área tiene un clima templado cálido con estación seca prolongada (7 a 8 meses), con

una temperatura media de 15°C y una precipitación promedio de aproximadamente 500 mm anuales en el valle central (Castillo, 2001). El 20% de la región está cubierta por praderas y matorrales, el 25% por terrenos agrícolas, el 28% por bosque nativo, el 8% por plantaciones forestales, el 16% por áreas sin vegetación (alta montaña) y el 3% por otros usos (CONAF, 2017). El 91% del bosque nativo corresponde al tipo forestal Esclerófilo, especialmente a formaciones de *Acacia caven* (Molina) Molina (Imagen 1), el 7% al tipo forestal Roble-Hualo, y el 2% restante a los tipos forestales Ciprés de la Cordillera y Palma Chilena (Donoso, 1993). Las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don y *Eucaliptus sp.*, que por razones climáticas son mucho menores en superficie que en la región del Maule, se concentran en la Cordillera de la Costa y se utilizan para abastecer de materia prima a la industria.

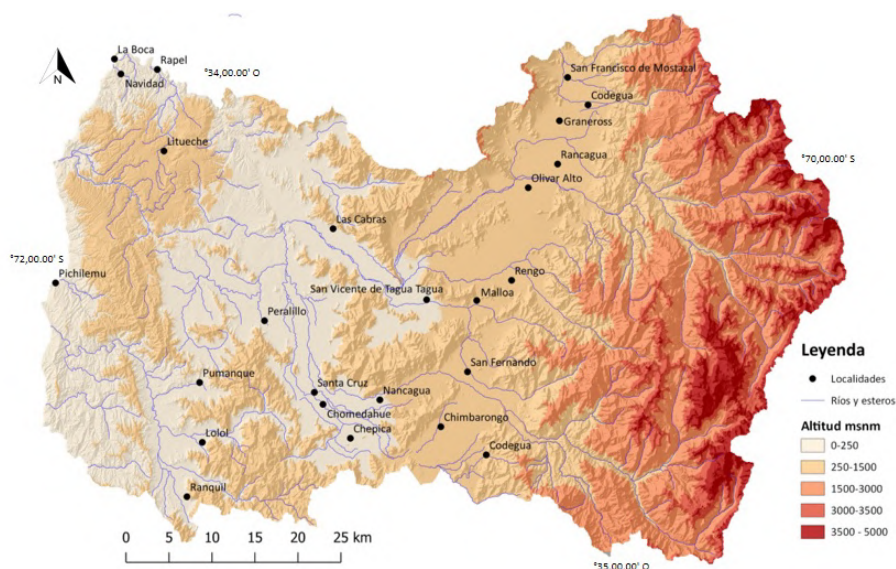
La región de O'Higgins tiene 914.555 habitantes, los cuales se concentran en la conurbación

Rancagua-Machalí, y las ciudades de San Fernando y Rengo (59% de la población urbana). El 74% de la población vive en áreas urbanas y el 26% restante en áreas rurales (INE, 2017). Desde un punto de vista productivo, la región de O'Higgins es la capital de la actividad vitivinícola chilena, con un fuerte desarrollo de la fruticultura (manzanas, peras, cerezas, etc.), y la agroindustria. Todas estas actividades generan miles de toneladas de madera de desecho (ramas y fustes), las cuales se utilizan como combustible en las mismas plantas de procesamiento, o se transforman en leña y carbón.

2.2. Estimación del consumo de leña y otros CDM en el sector residencial

Ábalos (1997) señala que tanto la penetración como el consumo de leña por vivienda aumentan en la medida que disminuye el tamaño del área urbana. Por esta razón, en el sector residencial urbano se implementó un muestreo estratificado. Los estratos definidos fueron los siguientes²:

Figura 1.
Área de estudio.



² Estratos estimados en base a INE (2005; 2019).

1. Ciudades grandes (más de 40 mil habitantes): conurbación Rancagua-Machalí, San Fernando y Rengo.
2. Ciudades intermedias (entre 15-40 mil habitantes): Chimbarongo, Doñihue, Graneros, Mostazal, Requinoa, San Vicente y Santa Cruz.
3. Ciudades pequeñas (entre 1-15 mil habitantes)³: Chépica, Coinco, Las Cabras, Litueche, Malloa, Nancagua, Peralillo, Pichilemu y Quinta de Tilcoco.

El tamaño de la población (total de viviendas habitadas en áreas urbanas y rurales) se obtuvo del último Censo de Población y Vivienda (INE, 2017). Sin embargo, los edificios de departamentos no fueron considerados en el muestreo, asumiéndose que no consumen leña ni otros CDM. Esto podría generar cierto grado de subestimación en el porcentaje de penetración (proporción de viviendas que consumen leña y otros CDM) y en los volúmenes regionales de consumo.

Para estimar el número de encuestas por estrato se utilizó la siguiente expresión:

$$n = \frac{(np \times p \times (1-p))}{[(np-1) \times (B/C)^2 + p \times (1-p)]} \quad (1)$$

Donde,

n = tamaño de la muestra por sector/estrato

np = tamaño de la población por sector/estrato

p = proporción de la muestra (50%)

B = margen de error propuesto (10%)

C = valor crítico para distribución normal con nivel de confianza de 95% (1,96)

Considerando un 10% de error, el

Figura 2.

Asignación de puntos al azar dentro de la ciudad de Graneros.



tamaño de la muestra en cada uno de los estratos fluctuó entre 95 y 100 viviendas. En los estratos 1 y 2 la muestra se distribuyó de manera proporcional al número de viviendas existentes en cada ciudad. En el estrato 3 no fue posible utilizar el mismo procedimiento debido al tamaño y dispersión de los poblados (a varios se les asignaba menos de una encuesta). Por esta razón, se seleccionaron aleatoriamente nueve áreas urbanas pequeñas, en las cuales se distribuyó la muestra (Anexo 1) de forma proporcional a su tamaño (cantidad de viviendas). El consumo total de leña y otros CDM del sector residencial urbano se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C = \sum_{i=1}^9 ((Li \times Pi \times Hi) \times 0,64) \quad (2)$$

Donde,

C = consumo de leña del sector residencial urbano (m^3 sólidos/año)

Li = consumo promedio de leña por

hogar en el estrato i (m^3 estéreo/hogar/año)

Pi = penetración del consumo de leña en el estrato i (% de los hogares que consumen leña)

Hi = cantidad de hogares que pertenecen al estrato i (hogares)

0,64= factor para transformar metros cúbicos estéreo a metros cúbicos sólidos

Posteriormente, utilizando el *software* QGIS 3.0 se generaron polígonos de cada ciudad, para luego mediante el algoritmo *Random Points Inside Polygon*, distribuir las muestras sobre una capa de red vial (Figura 2).

En el caso del sector residencial rural, el tamaño de la muestra se estimó a partir de la ecuación 1. La muestra se distribuyó entre viviendas con tierra (predios rurales) y viviendas sin tierra (pequeñas villas y caseríos que no alcanzan a ser considerados áreas urbanas), de forma proporcional al tamaño de cada grupo (INE, 2005;

³ Nueve de un total de 22 áreas urbanas pequeñas. La cantidad de poblados donde se implementó el muestreo en este estrato se definió en base a dos criterios: a) tamaño mínimo de muestra y b) costo de implementación.

Figura 3.
Consumo de leña por comuna y especie en el sector residencial urbano de la región de O'Higgins.

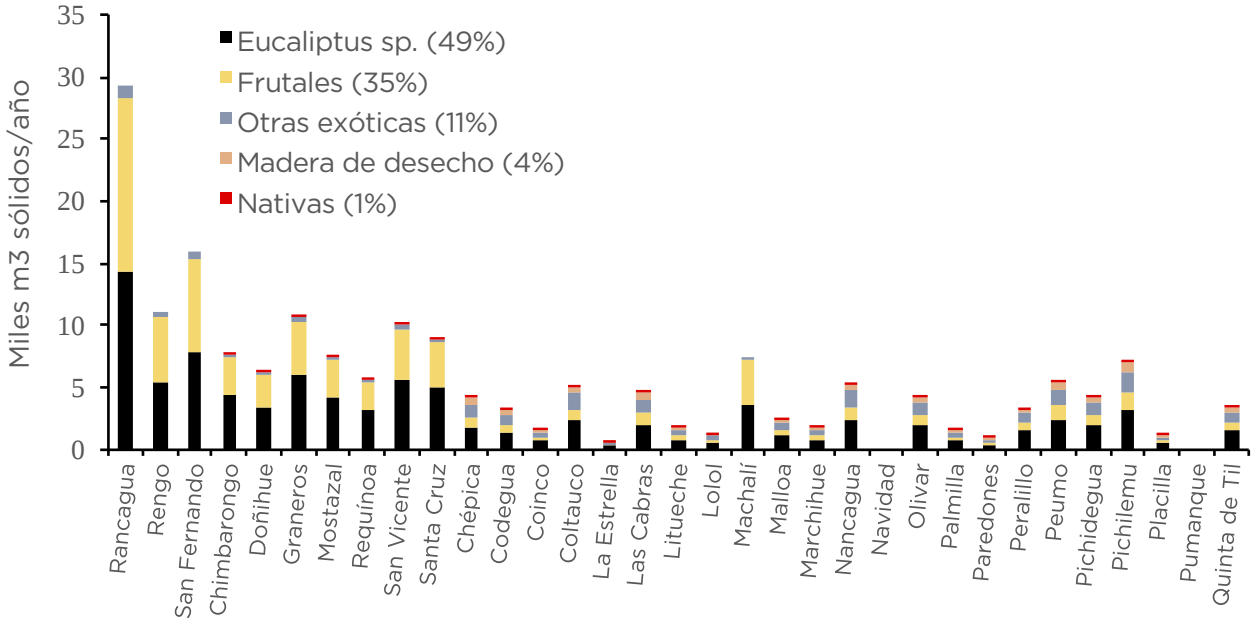
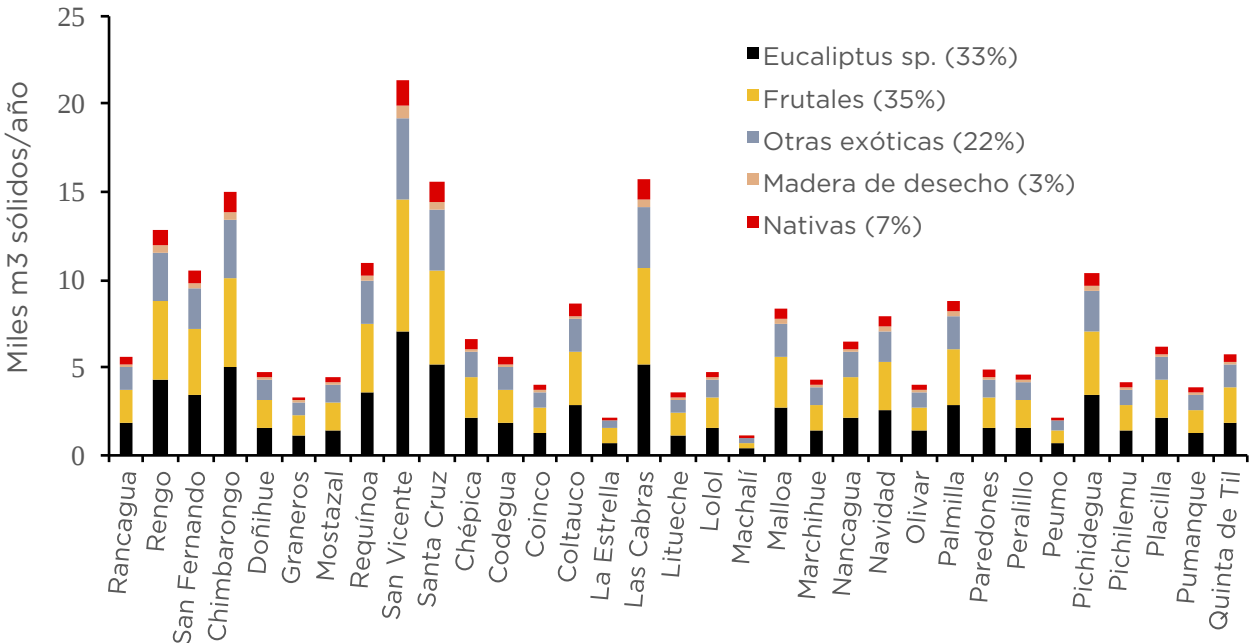


Figura 4.
Consumo de leña por comuna y especie en sector residencial rural de la región de O'Higgins .



Cuadro 1.

Penetración, consumo y composición del consumo de leña por comuna en el sector residencial urbano de la región de O'Higgins.

Comuna	Penetración (%) ¹	Consumo (m ³ sólidos/año)	Composición del consumo (M3 sólidos/año)				
			Nativas (1%)	Eucaliptus sp. (49%)	Otras exóticas (11%)	Madera de desecho (4%)	Frutales (35%)
Rancagua	17.6	29,360	0	14,395	1,099	0	13,866
Rengo	35.4	11,005	0	5,395	412	0	5,197
San Fernando	35.4	16,009	0	7,849	599	0	7,561
Chimbarongo	48.8	7,952	210	4,364	235	0	3,144
Doñihue	48.8	6,324	167	3,471	187	0	2,500
Graneros	48.8	10,928	288	5,997	322	0	4,320
Mostazal	48.8	7,743	204	4,250	228	0	3,061
Requinoa	48.8	5,811	153	3,189	171	0	2,297
San Vicente	48.8	10,251	270	5,626	302	0	4,053
Santa Cruz	48.8	9,098	240	4,993	268	0	3,597
Chépica	57.5	4,193	69	1,873	1,020	432	800
Codegua	57.5	3,153	52	1,408	767	325	601
Coinco	57.5	1,597	26	713	388	164	305
Coltauco	57.5	5,161	85	2,305	1,255	532	984
La Estrella	57.5	636	10	284	155	65	121
Las Cabras	57.5	4,601	75	2,055	1,119	474	877
Litueche	57.5	1,789	29	799	435	184	341
Lolol	57.5	1,266	21	565	308	130	241
Machalí	17.6	7,473	0	3,664	280	0	3,530
Malloa	57.5	2,506	41	1,119	610	258	478
Marchihue	57.5	1,770	29	791	431	182	338
Nancagua	57.5	5,410	89	2,416	1,316	557	1,032
Navidad	57.5	0	0	0	0	0	0
Olivar	57.5	4,296	70	1,919	1,045	443	819
Palmilla	57.5	1,587	26	709	386	163	303
Paredones	57.5	977	16	436	238	101	186
Peralillo	57.5	3,319	54	1,483	807	342	633
Peumo	57.5	5,516	90	2,464	1,342	568	1,052
Pichidegua	57.5	4,315	71	1,927	1,049	444	823
Pichilemu	57.5	7,095	116	3,169	1,726	731	1,353
Placilla	57.5	1,107	18	494	269	114	211
Pumanque	57.5	0	0	0	0	0	0
Quinta de Til	57.5	3,387	55	1,513	824	349	646
Total	31.0	185,633	2,576	91,633	19,593	6,560	65,270

¹ Proporción de viviendas que utilizan leña.
n.a.: no aplica (ausencia de viviendas urbanas).

2019). Para distribuir las muestras del subgrupo viviendas sin tierra se utilizó el mismo procedimiento utilizado en el sector residencial urbano, mientras que para el subgrupo viviendas con tierra se realizó un sorteo al azar dentro del polígono "región de O'Higgins", descontando áreas urbanas, lagos, altas cumbres y otros usos del suelo. El consumo total de leña y otros CDM se estimó utilizando la ecuación 2.

Una vez en terreno, el encuestador fue a la casa seleccionada y consultó por el principal tomador de decisiones de la vivienda (jefe(a) de hogar). En caso de que éstos no estuviesen en casa se procedió al reemplazo de la vivienda, siguiendo los protocolos establecidos. En

áreas urbanas, el reemplazo implicó la selección de la vivienda contigua (primera prioridad al lado derecho de la vivienda seleccionada, y segunda prioridad al lado izquierdo), mientras que en áreas rurales la vivienda más próxima. En caso de encontrar al tomador(es) de decisión, el encuestador procedió a presentarse, presentar el estudio (alcance y objetivos) y a mostrar carta con los derechos del encuestado (anonimato y protección de la información). Este procedimiento aseguró una participación consentida e informada.

En el caso de la industria manufacturera, se utilizó la Encuesta Nacional Industrial Anual 2013 (ENIA) proyectada al año 2018

(INE, 2013), y el VII Catastro de la Industria Forestal Primaria⁴ (INFOR, 2016). ENIA censa a los establecimientos que tienen más de 10 trabajadores⁵, pero sólo toma una muestra de los más pequeños, lo cual implica que los resultados obtenidos en este sector corresponden a una subestimación del consumo real de leña y otros CDM. En el caso del sector público, se realizó una encuesta telefónica a una muestra de 15 municipios, hospitales y otros edificios públicos de la región de O'Higgins.

2.3. Consumo de energía en el sector residencial

La encuesta aplicada en el sector residencial (urbano y rural) contempló un set de preguntas orientadas a caracterizar el consumo de leña en la vivienda, pero también el consumo de otras fuentes de energía. De esta forma, fue posible estimar el consumo final de energía de cada una de las viviendas, lo que incluye la energía utilizada en calefacción, cocina, agua caliente sanitaria, iluminación y uso de electrodomésticos (excluye transporte). Los factores utilizados para la transformación de unidades fueron los siguientes:

$$L_i = V_{ji} \text{ (m}^3 \text{ estéreo/año)} \times 0,64 \text{ (m}^3 \text{ sólidos/m}^3 \text{ estéreo)} \times 730 \text{ (kilos/m}^3 \text{ sólido)} \times 3,88 \text{ (kWh/kilo)} \quad (3)$$

$$G_i = V_{ji} \text{ (kilos/año)} \times 14,06 \text{ (kWh/kilo)} \quad (4)$$

$$R_i = V_{ji} \text{ (kilos/año)} \times 13,60 \text{ (kWh/kilo)} \quad (5)$$

$$K_i = V_{ji} \text{ (litros/año)} \times 10,45 \text{ (kWh/litro)} \quad (6)$$

$$E_i = V_{ji} \text{ (pesos/año)} / \text{CV (pesos/kWh)} \quad (7)$$

⁴ Esto permitió mejorar la estimación del consumo de desechos forestales (autoconsumo de aserraderos).

⁵ La restricción del número de trabajadores no se aplica para aquellos establecimientos pertenecientes a empresas que se desempeñan en más de una actividad económica y/o tienen más de una planta. En estos casos la información del establecimiento se levanta aun cuando trabajen en él menos de 10 trabajadores (INE, 2013).



Imagen 2.
Viñas, frutales y cortinas de árboles son una buena fuente de biomasa para energía.

$$C_i = V_{ji} (\text{sacos/año}) \times 18 (\text{kilos/saco}) \times 8,0 (\text{kWh/kilo})$$

(8)

$$P_i = V_{ji} (\text{kilos/año}) \times 4,8 (\text{kWh/kilo})$$

(9)

Donde,

L_i = consumo de leña de la vivienda i (kWh/año)

G_i = consumo de gas licuado de la vivienda i (kWh/año)

R_i = consumo de gas de red de la vivienda i (kWh/año)

K_i = consumo de kerosene de la vivienda i (kWh/año)

E_i = consumo de electricidad de la vivienda i (kWh/año)

C_i = consumo de carbón vegetal de la vivienda i (kWh/año)

P_i = consumo de pellets de la vivienda i (kWh/año)

V_{ij} = volumen de consumo del combustible j en la vivienda i (unidad/año)

CV = precio del kilowatt-hora (pesos/kWh)

Esta información permitió analizar la importancia relativa de los combustibles, sus niveles de penetración y consumo en las distintas localidades, entre otros aspectos.

3. RESULTADOS

3.1. Evaluación del consumo de leña en la región de O'Higgins

a) Sector residencial urbano

El consumo de leña del sector residencial urbano de la región de O'Higgins es de 185.633 m³ sólidos/año, el 23% del cual se concentra en la conurbación Rancagua-Machalí, el 8% en San Fernando y el 5% en Rengo (Figura

3). El 34% de las viviendas urbanas⁶ de la región de O'Higgins consumen leña a un promedio de 2,29 m³ sólidos/año (considerando sólo viviendas que consumen)⁷. El 95% del consumo total de leña de este sector corresponde a especies exóticas (50% eucaliptus, 37% frutales y 8% otras exóticas⁸), 4% madera de desecho y 1% a maderas nativas (Cuadro 1; Imagen 2).

El 66% de la leña que se consume en el sector residencial urbano se compra y el 34% restante se obtiene de forma gratuita a través de recolección o regalo. El precio de la leña varía entre las distintas ciudades, con un promedio regional de \$91 por kilo (equivalente a \$42.583 por metro cúbico estére⁹) (valor sin IVA para el periodo 2018-2019). El gasto en leña realizado por el sector residencial urbano el año 2018 fue de 9 mil millones de pesos (leña comprada),

⁶ Considera también a los departamentos.

⁷ Desviación estándar= 1,70 m³ sólidos/año.

⁸ Este grupo está compuesto por distintas especies de aromo (Acacia sp.), sauce (Salix sp.) y álamo (Populus sp.).

⁹ 1 m³ estéreo = 0,64 m³ sólidos.

lo que equivale aproximadamente a 14 millones de dólares anuales (650 pesos chilenos por dólar). La leña que se obtiene por regalo y recolección evita un gasto de 6,5 millones de dólares anuales en áreas urbanas.

Por otra parte, el 1,4% de los hogares urbanos de la región¹⁰ consumen carbón vegetal para calefacción a un promedio de 194 kilos/año (desviación estándar= 145 kilos/año), considerando sólo hogares que consumen. Esto implica un consumo anual de 625.400 kilos de carbón vegetal, lo que equivale a 5.559 m³ sólidos de madera (factor de transformación de 4 sacos de carbón de 18 kilos por metro cúbico estéril de leña). El precio promedio del carbón vegetal es de \$13.500 por saco, lo que genera un gasto total de \$469.000.000 (0,721 millones de dólares a 650 pesos por dólar). Finalmente, el 1% de los hogares urbanos consumen pellets a un promedio de 77 sacos de 18 kilos por vivienda, lo que implica un consumo regional de 3.562 toneladas/año.

b) Sector residencial rural

El consumo de leña en el sector residencial rural de la región de O'Higgins es de 238.422 m³ sólidos/año. Todas las comunas de la región presentan un consumo importante, en especial San Vicente, Chimbarongo, Santa Cruz y Las Cabras (Figura 4). El 82% de los hogares rurales consumen leña, a un promedio de 3,7 m³ sólidos/año (considerando sólo hogares que consumen; desviación estándar= 3,0 m³ sólidos/año)¹¹. El 90% del consumo total de leña de este sector corresponde a especies exóticas (35% frutales, 33% eucaliptus y 22% otras exóticas), 3% madera de desecho y 7% a maderas

Imagen 3.

Consumo de carbón vegetal en el sector residencial rural de la región de O'Higgins.



nativas (Cuadro 2).

Sólo el 17% de la leña que se consume en el sector residencial rural se compra, el 57% se recolecta y el 26% se obtiene como regalo. La leña que se compra en áreas rurales es más barata que la obtenida en áreas urbanas, con un precio promedio de \$75 por kilo (Figura 5). En el sector residencial rural, el

gasto en leña alcanzó los 2 mil millones de pesos (leña comprada), lo que equivale a 3 millones de dólares anuales. La leña que se obtiene por regalo y recolección evita un gasto de 15,7 millones de dólares anuales en áreas rurales.

Por otra parte, el 4,4% de los hogares rurales de la región consumen carbón vegetal a un

¹⁰ 4% en ciudades grandes e intermedias y 18% en áreas urbanas pequeñas.

¹¹ El intervalo de confianza del promedio fluctúa entre 4,4 y 6,6 m³ sólidos/año al 95%.

Cuadro 2.

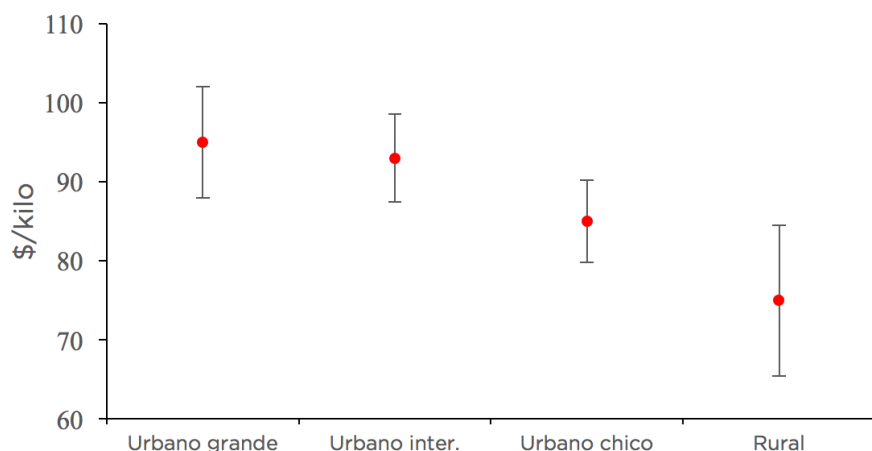
Penetración, consumo y composición del consumo de leña por comuna en el sector residencial rural de la región de O'Higgins.

Comuna	Penetración (%) ¹	Consumo (m³ sólidos/año)	Composición del consumo				
			Nativas (7%)	Eucaliptus sp. (33%)	Otras exóticas (22%)	Madera de desecho (3%)	Frutales (35%)
Rancagua	82	5.537	387	1.841	1.215	174	1.920
Rengo	82	12.889	902	4.285	2.828	405	4.470
San Fernando	82	10.522	736	3.498	2.309	330	3.649
Chimbarongo	82	14.958	1.047	4.973	3.282	469	5.187
Doñihue	82	4.727	331	1.571	1.037	148	1.639
Graneros	82	3.350	234	1.114	735	105	1.162
Mostazal	82	4.460	312	1.483	979	140	1.547
Requinoa	82	10.989	769	3.653	2.411	345	3.811
San Vicente	82	21.426	1.499	7.123	4.701	672	7.431
Santa Cruz	82	15.553	1.088	5.170	3.412	488	5.394
Chépica	82	6.551	458	2.178	1.437	206	2.272
Codegua	82	5.580	390	1.855	1.224	175	1.935
Coinco	82	4.023	281	1.337	883	126	1.395
Coltauco	82	8.589	601	2.855	1.885	270	2.979
La Estrella	82	2.212	155	735	485	69	767
Las Cabras	82	15.713	1.099	5.224	3.448	493	5.449
Litueche	82	3.538	248	1.176	776	111	1.227
Lolol	82	4.776	334	1.588	1.048	150	1.656
Machalí	82	1.083	76	360	238	34	376
Malloa	82	8.350	584	2.776	1.832	262	2.896
Marchihue	82	4.320	302	1.436	948	136	1.498
Nancagua	82	6.532	457	2.172	1.433	205	2.265
Navidad	82	7.886	552	2.621	1.730	247	2.735
Olivar	82	4.066	284	1.352	892	128	1.410
Palmilla	82	8.808	616	2.928	1.933	276	3.055
Paredones	82	4.864	340	1.617	1.067	153	1.687
Peralillo	82	4.645	325	1.544	1.019	146	1.611
Peumo	82	2.178	152	724	478	68	755
Pichidegua	82	10.398	727	3.457	2.281	326	3.606
Pichilemu	82	4.145	290	1.378	909	130	1.437
Placilla	82	6.238	436	2.074	1.369	196	2.163
Pumanque	82	3.823	267	1.271	839	120	1.326
Quinta de Til	82	5.695	398	1.893	1.250	179	1.975
Total	82	238.422	15.648	73.731	47.634	7.069	77.560

¹ Proporción de viviendas que utilizan leña.

n.a.: no aplica (ausencia de viviendas urbanas).

Figura 5.

Precio de la leña por estrato (promedio y error estándar).

promedio de 369 kilos/año (desviación estándar: 595 kilos/año; Imagen 3), considerando sólo a aquellos hogares que consumen. Esto implica un consumo anual de 1.275.857 kilos de carbón vegetal, lo que equivale a 11.341 m³ sólidos de madera (factor de transformación de 4 sacos de carbón de 18 kilos por metro cúbico estéreo de leña). No se registró consumo de pellets ni de otros combustibles derivados de la madera.

c) Sector industrial

El consumo de leña en el sector industrial manufacturero alcanza los 13.500 m³ sólidos/año (INE, 2013), más 85.943 m³ sólidos de desechos forestales utilizados en aserraderos (aserrín, lampazos, etc.)(INFOR, 2016). El consumo de leña y desechos forestales está subestimado en la medida que la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) sólo censa establecimientos que tienen más de 10 trabajadores, mientras que en el resto se toma una muestra. En este segmento no se observó consumo de carbón vegetal y pellets. Desafortunadamente ENIA no provee información a nivel comunal.

d) Sector público

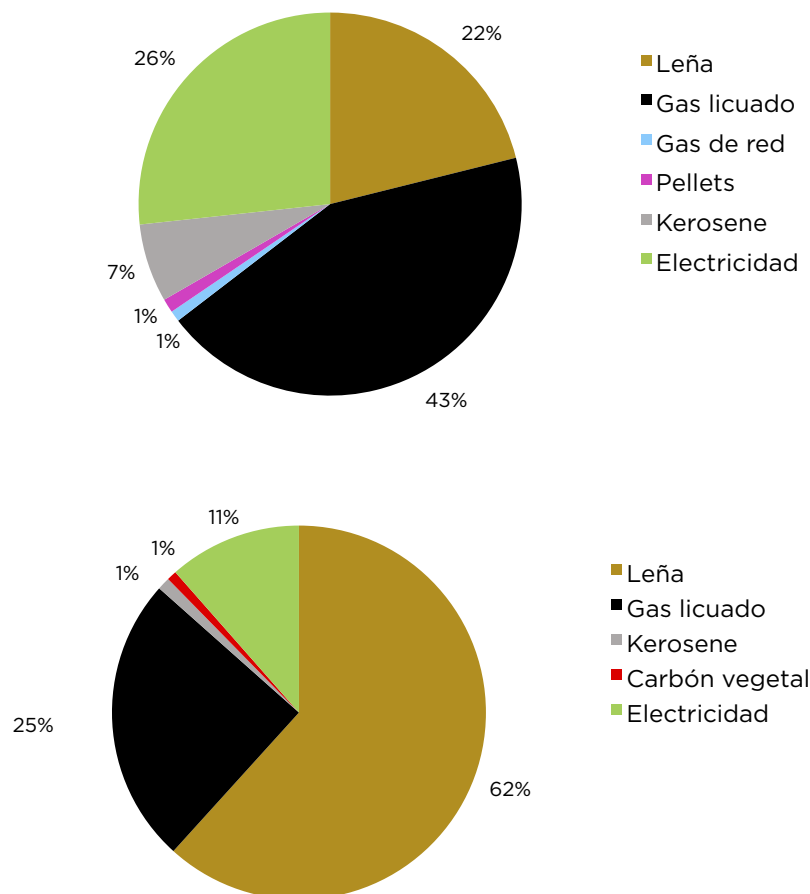
A partir de encuestas realizadas a municipios y otras reparticiones públicas de la región se observó un consumo muy bajo de leña y otros CDM.

3.2. Consumo final de energía en el sector residencial

En 2018, el consumo final de energía en el sector residencial urbano de la región de O'Higgins fue de 2.380 gigawatt-hora (no considera transporte), de los cuales el 43% corresponde a gas licuado, el 26% a

Figura 6.

Composición del consumo final de energía en el sector residencial urbano (superior) y rural (inferior) de la región de O'Higgins.



electricidad, el 22% a leña, el 7% a kerosene, el 1% a gas de red y el 1% a pellets (Figura 6, gráfico superior). En promedio, los hogares urbanos de la región de O'Higgins consumen 9.270 kWh/año.

La leña se emplea entre el 22% y 58% de las viviendas dependiendo del tamaño del área urbana (34% promedio), con porcentajes más altos en ciudades pequeñas. Por el contrario, entre el 13% y 38% de las viviendas utilizan kerosene (29% promedio), siendo más frecuente en ciudades grandes. En ciudades grandes se consume además gas de red (3% de los hogares), pellets (3% de los hogares) y energía solar térmica (agua caliente sanitaria; 1%

de los hogares). En áreas urbanas el 1% de las viviendas consume también carbón vegetal (calefacción), aunque este combustible es más frecuente en ciudades pequeñas y sectores rurales (Figura 7). El 28% de toda la energía empleada en el sector residencial urbano se utiliza para calefacción.

El consumo final de energía en el sector residencial rural de la región de O'Higgins fue de 1.094 gigawatt-hora (no considera transporte), de los cuales el 62% corresponde a leña, el 25% a gas licuado, el 11% a electricidad, el 1% a kerosene y el 1% a carbón vegetal (Figura 6, gráfico inferior). En

promedio, los hogares rurales de la región de O'Higgins consumen 13.924 kWh/año. El 100% de los hogares consumen gas licuado para cocinar y calentar agua y el 97% electricidad. La distribución comunal del consumo final de energía del sector residencial rural se observa en la Figura 8.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Consumo de leña y otros combustibles derivados de la madera

En 2018, el consumo de leña en la región de O'Higgins fue de 437.555 m³ sólidos (329.100 toneladas). A esto hay que agregar 85.943 m³ sólidos (62.738 toneladas) de desechos forestales utilizados en aserraderos (aserrín, lampazos, etc.; INFOR, 2016), 16.900 m³ sólidos de madera que se utilizan para producir carbón vegetal (12.337 toneladas) y 3.562 toneladas de pellet, lo que da un consumo total de 407.737 toneladas de biomasa utilizada con fines energéticos (Imagen 4).

El Cuadro 3 muestra el consumo de leña en la región de O'Higgins de acuerdo a cuatro estudios realizados entre 1992 y 2019, observándose una gran variabilidad en las estimaciones. El primero de los estudios citados corresponde a una evaluación realizada por INFOR en 1992, el cual estimó un consumo regional de leña de 1,19 millones de m³ sólidos/año (INFOR, 1994). Posteriormente, en 2003, Gómez-Lobo et al. (2006) estimaron un consumo de 663 mil m³ sólidos/año y CDT (2015), en 2014, un consumo de 334 mil m³ sólidos/año. Todas las estimaciones coinciden en que el principal sector

Figura 7.
Consumo final de energía por comuna en el sector residencial urbano de la región de O'Higgins.

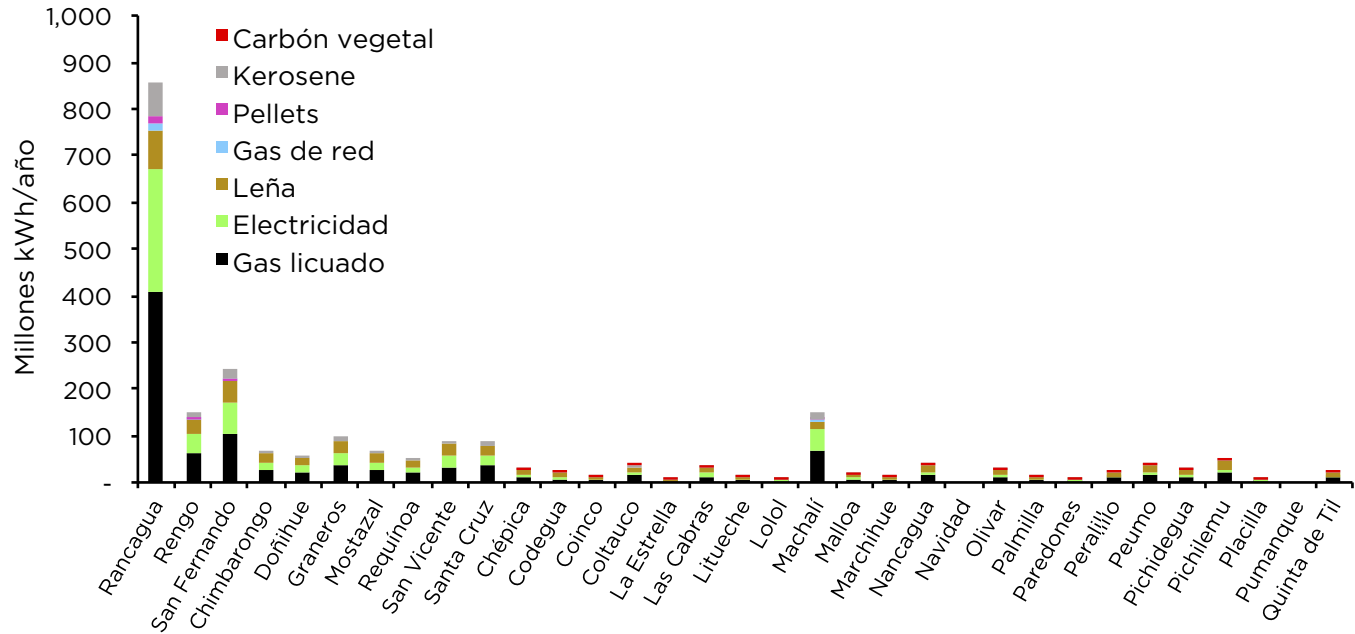
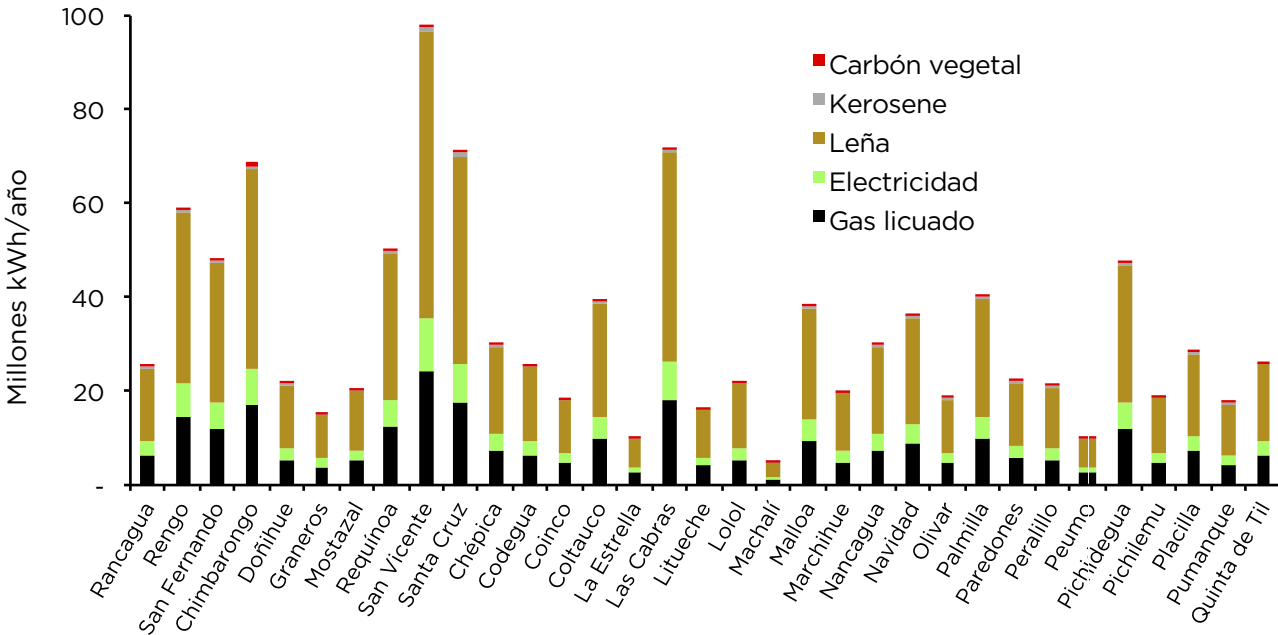


Figura 8.
Consumo final de energía por comuna en el sector residencial rural de la región de O'Higgins.



Cuadro 3.

Consumo de leña en la región de O'Higgins (m³ sólidos/año).

Sector	INFOR (1994) ¹ (Datos 1992)	Gómez-Lobo <i>et al</i> (2006) (Datos 2003)	CDT (2015) (Datos 2014)	INFOR (2019) (Datos 2018)
Residencial urbano	240.000	100.690	333.364	185.633
Residencial rural	767.361	368.193		238.422
Industrial	180.600	192.838	776*	13.500
Comercial y público	3.600	1.681	134	-
Total	1.191.561	663.402	334.274	437.555

¹ Los datos de INFOR (1994) fueron transformados de toneladas a metros cúbicos sólidos dividiendo por 0,733 (1 metro cúbico sólido de leña = 733 kilos). Esto corresponde al peso promedio de *Eucalyptus sp.* al 30% de humedad.

* Este valor corresponde al sector industrial Pyme no-generación, por tanto es un sub-conjunto del sector industrial.

Cuadro 4.

Consumo de leña por vivienda urbana y rural en la región de O'Higgins (m³ sólidos/viv/año).

Sector	CDT 2015 (Datos 2014)	INFOR (2019) (Datos 2018)
Residencial urbano	2,14	2,29
Residencial rural	2,69	3,70
Residencial (todos)	2,24	2,89

Nota: estos promedios sólo consideran viviendas que consumen leña.

consumidor de leña en la región es el sector residencial rural, excepto CDT (2015) que estima un volumen de consumo que abarca a todo el sector residencial (urbano y rural). En cuanto al sector industrial, tanto INFOR (1994) como Gómez-Lobo et al. (2006) estimaron un consumo de leña bastante mayor al estimado con posterioridad¹², lo que se debe a que en ambos se contabilizó de manera agregada a la leña y los desechos forestales. La herramienta utilizada para estimar el consumo de leña en el sector industrial manufacturero es la Encuesta Nacional Industrial Anual,

la cual presentaba deficiencias para medir el consumo de leña (ej. unidades de medida). Sin embargo, éstas se han ido corrigiendo con el tiempo. En cuando a los sectores comercial y público, todos los estudios estiman volúmenes de consumo muy inferiores al de los otros sectores.

Desde un punto de vista metodológico, es importante mencionar que tanto INFOR (1994) como Gómez-Lobo et al. (2006) no aplicaron encuestas en la región de O'Higgins, basando sus estimaciones en estudios anteriores o proyecciones realizadas a partir

de encuestas aplicadas en otras regiones, mientras que CDT (2015) e INFOR (2019) sí aplicaron encuestas. Sin embargo, CDT (2015) usó una metodología que le llevó a subestimar el consumo de leña, lo que ha sido comentado en informes previos (Reyes, 2017; Reyes et al., 2018).

En total, el 45% de las viviendas de la región consumen leña a un promedio de 2,89 m³ sólidos/vivienda/año (considerando viviendas urbanas y rurales que consumen leña). Tanto la proporción de viviendas que utilizan

¹² CDT (2015) no abordó completamente el sector industrial manufacturero, sólo consideró al subsector Pyme no generación.

leña (penetración del combustible) como el volumen de consumo han disminuido con respecto a 1992, año en el que el 64% de las viviendas consumían leña a un promedio de $6,2\text{m}^3$ sólidos/vivienda/año (INFOR, 1994).

Cuando se compara la penetración de la leña estimada en este estudio con lo estimado por CASEN 2017 (Ministerio de Desarrollo Social, 2017) se observan valores muy similares. Para el caso de la conurbación Rancagua-Machalí, principal núcleo urbano de la región, CASEN 2017 estimó una penetración de la leña del 16,5%, mientras que este estudio estimó 18,4%. En las ciudades de San Fernando y Rengo, CASEN 2017 estimó 36,6% mientras que este estudio estimó 35,0%, y en ciudades intermedias (Chimbarongo, Doñihue, Graneros, Mostazal, Requínoa, San Vicente y Santa Cruz), los porcentajes fueron 46,8% y 49,7%, respectivamente. En ciudades pequeñas, CASEN 2017 estimó una penetración de la

leña de 57,1% y este estudio 57,5%, mientras que en áreas rurales CASEN 2017 estimó una penetración del 75,3% y este estudio 82,0%.

Con respecto a los volúmenes de consumo, no se observan diferencias importantes entre CDT (2015) y este estudio en lo que respecta al sector residencial urbano, pero sí en el sector residencial rural (Cuadro 4). Estas diferencias pueden deberse a la cobertura del muestreo llevado a cabo por CDT (2015), el cual sólo consideró áreas rurales de las comunas de Rancagua, San Fernando, Rengo, Machalí y Graneros, mientras que este estudio aplicó encuestas en 19 de las 33 comunas que conforman la región.

Finalmente, se observa que *Eucaliptus sp.* es la especie más importante en lo que respecta al abastecimiento de leña, tanto en áreas urbanas como rurales, lo que también se observa en otras regiones del país. Lo más destacable, en lo que respecta a la composición del consumo de leña,

es el importante rol que tiene la madera proveniente de frutales y viñas. Esta biomasa, que se produce como desecho de la agricultura, evita la corta de miles de árboles nativos y exóticos. Finalmente, las especies nativas tienen un rol marginal en el abastecimiento de biomasa para energía, lo que se entiende en la medida que la vegetación nativa que crece en la región es relativamente escasa y poco densa debido al clima seco que caracteriza a esta zona del país.

Imagen 4.

En la región de O'Higgins se utilizan distintas unidades de medida para la venta de leña, lo que complica la estimación de los volúmenes de consumo.



5. REFERENCIAS

Ábalos, M., 1997. Estimación del consumo de leña en las regiones V, IX y X. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile, p 115.

Castillo, C., 2001. Estadística Climatología Tomo I. Dirección Meteorológica de Chile, Climatología y Meteorología Aplicada. Santiago, Chile, p 542.

CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción). 2015. Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. Informe final. Estudio encargado por el Ministerio de Energía. 302 p.

CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2017. Catastro vegetacional. Disponible en <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>

Donoso, C., 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 484 p.

Gómez-Lobo, A., Lima, J.L., Hill, C., Meneses, M., 2006. Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile. Informe Final preparado para la Comisión Nacional de Energía de Chile. Centro Micro Datos, Departamento de Economía, Universidad de Chile. Disponible en http://www.sinia.cl/1292/articles-50791_informe_final.pdf.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2005. CHILE: ciudades, pueblos, aldeas y caseríos 2005. <http://www.ine.cl/estadisticas/censos/censos-de-poblacion-y-vivienda>

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2013. Encuesta Nacional Industrial Anual 2013. Disponible en <http://www.ine.cl/inicio/publicaciones>

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2017. Censo de Población y Vivienda 2017. Resultados preliminares región de O'Higgins. Disponible en <http://www.censo2017.cl/proceso-censal-resultados-preliminares/>

INFOR (Instituto Forestal). 1994. Evaluación del consumo de leña en Chile 1992. Informe técnico N° 130. Santiago, Chile, 56 p.

INFOR (Instituto Forestal). 2016. VII Catastro de la Industria Forestal Primaria. Disponible en: <http://wef.infor.cl/mapa/>

Ministerio de Desarrollo Social. 2017. Encuesta CASEN 2017. Disponible en http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/casen_2017.php

Ministerio de Energía. 2016. Balance nacional de energía 2016. Disponible en <http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/244115/bne-2016-balance-energia-global-tcal/>

Reyes, R., 2017. Consumo de combustibles derivados de la madera y transición energética en la Región de Los Ríos, periodo 1991-2014. En: Informes Técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 3. N° 6. Enero 2017. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 20.

Reyes, R., Sagardía, R., Schueftan A., 2018. Consumo de combustibles derivados de la madera y transición energética en la Región del Maule. En: Informes técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 4. N° 8. Enero 2018. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 24.

6. ANEXOS

Anexo 1. Distribución de la muestra en el sector residencial urbano.

Estrato	Comuna	Viviendas ocupadas 2017		Tamaño muestra	
		Casas	Deptos.	Casas	Deptos.
1	Rancagua-Machalí*	98.945	19.443	68	0
	San Fernando	22.201	353	38	0
	Rengo	15.261	3.360	10	0
	Subtotal	136.407	23.156	116	0
2	Chimbarongo	6.840	110	13	0
	Doñihue	5.440	93	11	0
	Graneros	9.400	420	19	0
	Mostazal	6.661	505	13	0
	Requínoa	4.999	3	7	0
	San Vicente	8.818	58	18	0
	Santa Cruz	7.826	1.152	3	0
	Subtotal	49.984	2.341	84	0
3	Chépica	2.928	0	12	0
	Coinco	1.115	32	4	0
	Las Cabras	3.213	142	13	0
	Litueche	1.249	1	5	0
	Malloa	1.750	0	7	0
	Nancagua	3.778	24	16	0
	Peralillo	2.318	15	10	0
	Pichilemu	4.955	22	20	0
	Quinta de Tilcoco	2.365	0	10	0
	Subtotal	61.519	488	97	0
Total		230.860	25.845	297	0

Anexo 2. Distribución de la muestra en el sector residencial rural.

Estrato	Región	Viviendas ocupadas 2017		Tamaño muestra	
		Casas	Deptos.	Casas	Deptos.
4	O'Higgins	78.582	0	91	0

Imagen 5.

El bosque de espino de la región de O'Higgins se encuentra sometido a múltiples presiones: cambio climático, ganadería, extracción de tierra de hojas, entre otras.



BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Número 11 | ENE. 2020

Proyecto apoyado por

