

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

Biomasa
residual de
piñón como
combustible
sólido

Aprovechamiento
GNL en empresas
mineras en
Perú

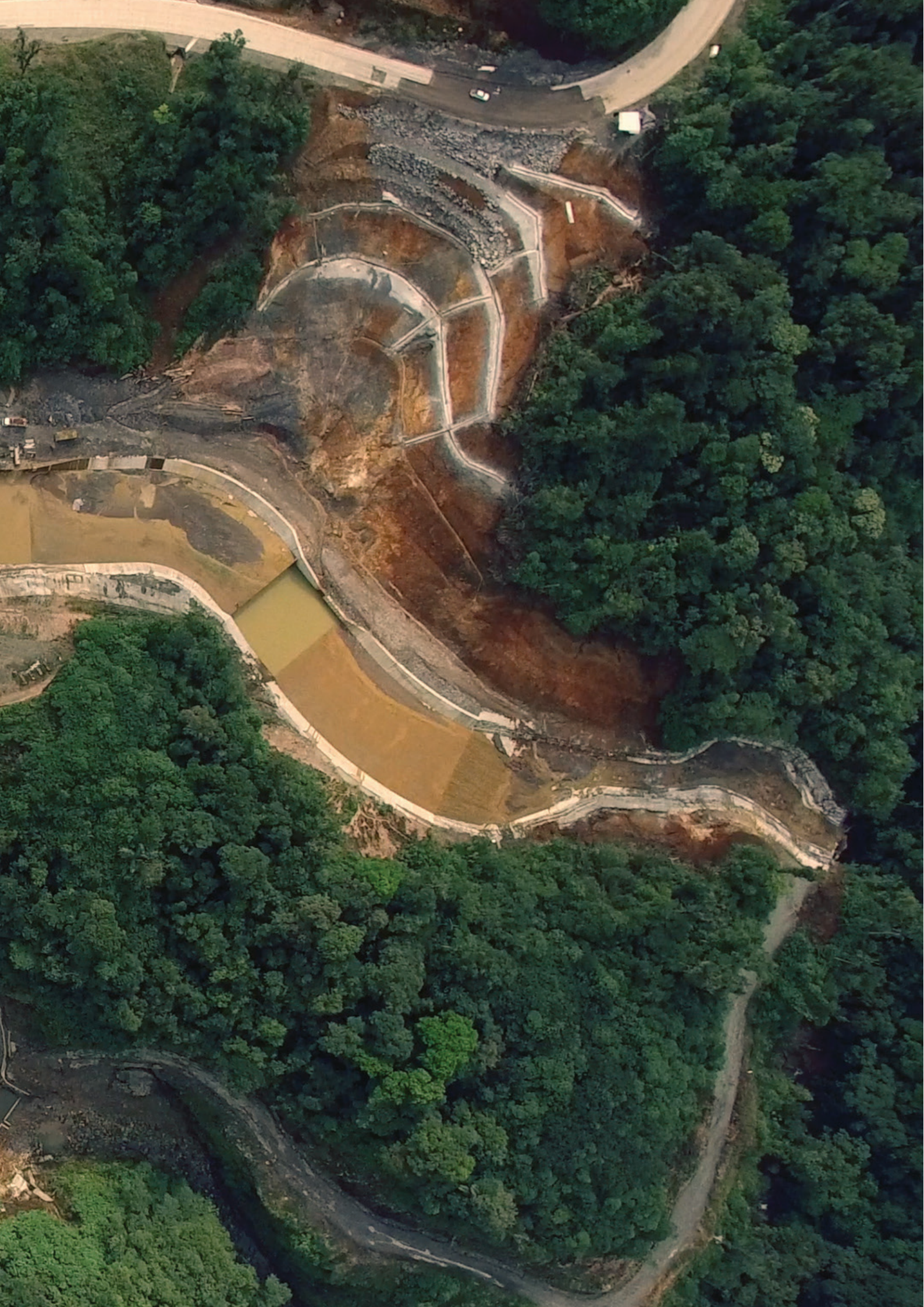
*NAMA &
Residential
efficient lighting
in Grenada*

Refinación
y eficiencia
energética

Indicadores
para medir
pobreza
energética

Residuos
leñosos para
calefacción

Resultados de
estudios prospectivos
internacionales de
ALC



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco
SECRETARIO EJECUTIVO DE OLADE

Pablo Garcés
ASESOR TÉCNICO DE OLADE

Marcelo Vega
COORDINADOR DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DE LA
ASOCIACIÓN DE UNIVERSIDADES GRUPO MONTEVIDEO
(AUGM)

Martha Ligia Vides Lozano
ESPECIALISTA PRINCIPAL DE HIDROCARBUROS DE OLADE

Blanca Guanocunga
BIBLIOTECARIA OLADE

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL
Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS
Pablo Garcés
Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN
Martha Ligia Vides Lozano

REVISORES

Cristhian Carrasco Villanueva. *Universidad Mayor de
San Andrés (UMSA). Bolivia*

Marcelo Castelli Léméz. *MCT ESCO. Uruguay*

Martha Ligia Vides Lozano. *Especialista Principal de
Hidrocarburos de OLADE*

Mauricio Medinaceli Monrroy. *Consultor Externo. Bolivia*

Byron Chilibingua.
Gerente de Proyecto de Cooperación Canadiense

Jaime Guillén. *Consultor de OLADE*

Alexandra Arias. *Energy Advocacy Officer, Oficina regional
América Latina HIVOS, Costa Rica*

Carina Guzowski.
Universidad Nacional del Sur (UNS). Argentina

María Rosa Gamarra Céspedes. *Instituto Universitario de
Ciencia y Tecnología (IUCT). España*

Laura Moyano. *Universidad Nacional de Córdoba. Argentina*

COLABORADORES

Raquel Atiaja. *Técnica de Área Informática OLADE*
Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación*

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía
(OLADE) 2018. Todos los derechos reservados.

2602-8042 (Impresa)
2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y
Fernández Salvador.
Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>
Página web OLADE: www.olade.org
Mail ENERLAC: enerlac@olade.org

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995 /
2599-489

Fotografía de portada: Central Hidroeléctrica Coca Codo
Sinclair. Ecuador. Foto cedida por el Ministerio de Energía y
Recursos Naturales no Renovables del Gobierno del Ecuador.

Esta revista es financiada por la Cooperación Canadiense.



Global Affairs
Canada

Affaires mondiales
Canada

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad
de los autores y no comprometen a las organizaciones
mencionadas.



EVALUACIÓN DE RESIDUOS LEÑOSOS AGRÍCOLAS PARA UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DISTRICTAL EN LA CIUDAD DE TALCA, REGIÓN DEL MAULE

Harald Fernández- Puratich¹

Recibido: 14/09/2018 y Aceptado: 13/11/2018
ENERLAC. Volumen II. Número 2. Diciembre, 2018. (126-139).



1 Universidad de Talca, hfernandezp@utalca.cl



RESUMEN

Vitis vinífera y *Olea Europaea* corresponden al 67% de la superficie de árboles frutales de la Región del Maule, siendo sus residuos leñosos de podas materias primas válidas para el abastecimiento a un sistema de calefacción distrital de cinco edificios públicos en la ciudad de Talca, con una inversión de US\$ 552.000. Se cuantificó en 16,985 t disponibles de poda anual en un radio de 15 km a la planta, se caracterizó la astilla cumpliendo en sus parámetros energéticos con la normativa ISO. Además, se realizó una evaluación social sin y con proyecto con el método costo-eficiencia determinando la situación con proyecto como la más adecuada.

Palabras claves: Calefacción Distrital, Frutales, Poda, *Vitis vinífera*, *Olea Europaea*, Energía.

ABSTRACT

Vitis vinifera and *Olea Europaea* correspond to 67% of the surface of fruit trees of the Maule Region, being its woody waste pruning raw materials valid for the supply to a district heating system of five public buildings in the city of Talca, with an investment of US \$ 552,000. It was quantified in 16,985 available t of annual pruning in a radius of 15 km to the plant, the chip was characterized fulfilling in its energetic parameters with the norm ISO. Also included a social evaluation without and with project with the method cost determining the situation with project as the most appropriate.

Keywords: District Heating, Fruit Trees, Pruning, *Vitis Vinífera*, *Olea Europaea*, Energy.

INTRODUCCIÓN

Una de las prioridades del desarrollo local de la ciudad de Talca es una mejor utilización de las fuentes de energía disponible para calefacción. La ciudad cuenta con un Plan de Descontaminación Ambiental, ya que presenta alto material particulado producto de la calefacción con artefactos unifamiliares a leña húmeda (contenido de humedad mayor al 25%).

La poda de frutales genera biomasa leñosa dispersa en el terreno que hasta ahora, esta no se retira del sitio, por lo que es combustible disponible para futuros incendios forestales y según algunos estudios (Sullivan et al., 2011 y Blanco, 2012) la eliminación de las podas tradicionalmente dejada en terreno podría tener impactos negativos en la fauna y flora. Por otra parte, su uso como fuente de calefacción urbana reduce las emisiones de CO₂. Además, el uso de calefactores a leña unifamiliares de baja tecnología, mala calidad de leña y desconocimiento en el correcto uso para una adecuada calefacción también han colaborado en el aumento del material particulado en las ciudades. Al concentrarse en fuentes alternativas de calor de bajo carbono, estas comunidades pueden reducir su dependencia de los combustibles fósiles para la calefacción.

En conjunto, estas cuestiones constituyen un cuadro complejo al que este estudio pretende contribuir a través de un análisis para la evaluación del aprovechamiento de biomasa residual leñosa proveniente de frutales a escala local que ayudará a evaluar la realización de un proyecto de calefacción distrital combinando la producción de biomasa para bioenergía, reducción de emisiones de CO₂ y material particulado, y el control de riesgos de incendios.

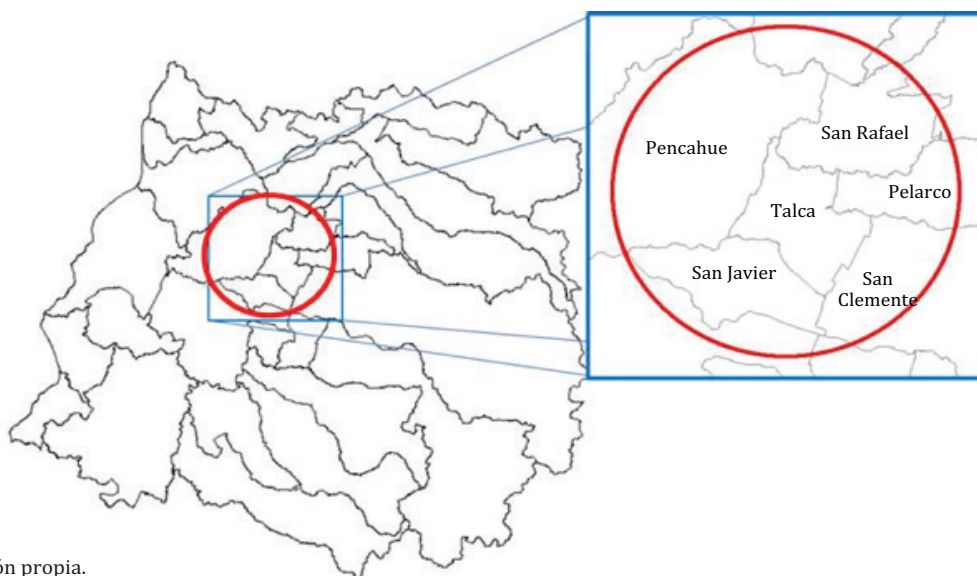
Esto se lograría con el establecimiento de una planta de calefacción distrital de 2 MW para cinco edificios públicos (20.000 m² construidos). Así, la determinación del potencial de biomasa leñosa y la evaluación económica de una planta para Talca debería servir como base para el desarrollo de proyectos de sistemas de calefacción distrital con biomasa en la ciudad.

METODOLOGÍA

Área de Estudio

El estudio se ubica en la Zona Centro Sur de Chile, en la Región del Maule, Ciudad de Talca (35°25'59"S; 71°40'00"O), cubriendo un área de 25 km de radio, que incluye a las comunas de Talca, San Javier, Pencahue, Maule, y San Rafael.

Figura 1. Comunas del área de estudio en la Región del Maule.



Fuente: Elaboración propia.

La distancia propuesta en literatura (Martí, 2011; Monllor, 2012; Fernández-Puratic, 2013) para aprovechamiento de biomasa con fines energéticos, indica que se trata de una distancia óptima de abastecimiento para un sistema de estas características, debido a que al tratarse de biomasa dispersa en el territorio y piezas de baja envergadura el costo de recolección y transporte comienza a ser más alto sobre esta distancia establecida.

Con respecto a las estimaciones de residuos leñosos agrícolas para uso potencial como combustible, el cálculo considerará distintos porcentajes de aprovechamiento por comuna, ya que el área de estudio abarca distintos porcentajes de estas, la comuna de Talca y San Javier están un

100% del área de estudio, la comuna de Penco en 80%, San Rafael y Pelarco en 90% (Figura 1). La cantidad de hectáreas de plantaciones de las especies seleccionadas dentro de los 25 km se determinará a través de los datos obtenidos del Censo Agropecuario 2007 (INE 2007).

Recopilación de Información

A pesar de que no existe un mercado desarrollado de residuos leñosos agrícolas con fines energéticos en la Región, cabe señalar que existen varias empresas agrícolas que operan en el área de estudio, identificadas como posibles proveedores de la futura planta, por lo que se determinó como base de estudio la superficie de los dos cultivos más frecuente en la Región.

Tabla 1. Superficie (ha) cultivada de frutales seleccionados en el área de estudio

Comunas (ha)	<i>Olea europaea</i> (ha)	<i>Vitis vinífera</i> (ha)	Total
Talca		2,047	2,047
Penco	2,355	4,430	6,785
San Javier		5,616	5,616
San Rafael	577		1,751
TOTAL	2,932	12,093	16,985

Fuente: INE (2017).

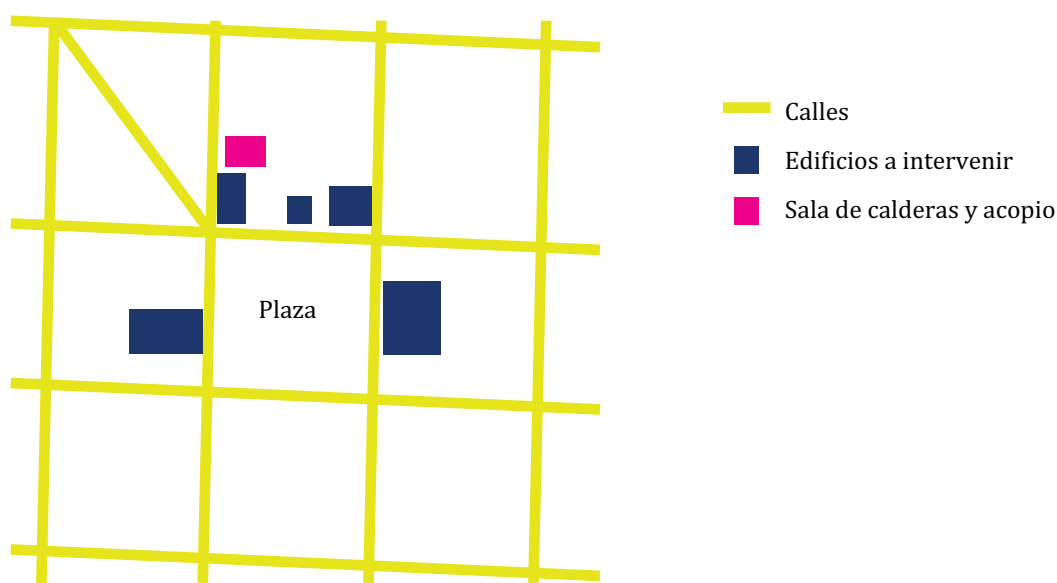
La especie frutal más importante que se cultiva en el área de estudio es *Vitis vinífera* (12,093 ha). También hay cantidades representativas de *Olea Europaea* (2,932 ha), según los datos entregados por INE (2012). De esta manera existen 16,985 ha de las especies *Vitis vinífera* y *Olea Europaea* en las comunas que integran el radio propuesto para suministro.

Descripción del Sistema de calefacción Distrital

Se ha decidido diseñar el Proyecto en una Asociación Público-Privada y comprar energía de calefacción del Socio Privado para abastecer a cinco edificios públicos de la Ciudad.

El proyecto será administrado por una ESCO que gestionará el sistema por medio de un contrato por un periodo de tiempo establecido y generará empleo local debido al abastecimiento constante que necesita este tipo de sistemas y a su operación y mantención de los equipos, estará a cargo de la producción y distribución de la energía de calefacción en 20.000 m² construidos (cinco edificios públicos). Por lo que para satisfacer la demanda de calefacción la planta tiene una potencia instalada de 2 MW (1 caldera) con 11 horas/día de funcionamiento. La red de tuberías que abastece al sistema desde la planta es de 600 m y se estima un empleo directo e indirecto de 30 personas. El suministro energético es constante, excepto para mantenimiento de la planta que ocurre en verano. Además se contempla una caldera a gas de respaldo de 0,7 MW.

Figura 2. Distribución de edificios y ubicación de la planta de calefacción distrital



Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de biomasa leñosa agrícola necesaria para el funcionamiento de la planta es de 1,000 t año⁻¹, esto considerando un sobredimensionamiento de la demanda la materia prima de 15%. La planta almacena la materia prima utilizada como combustible en un silo de 120 m³ de capacidad.

Los meses de mayor demanda son de Abril a Octubre (meses de invierno), siendo la red de calor de autoconsumo orientada a suministrar agua caliente y calefacción a los edificios en estudio.

Demanda de biomasa para la planta de calefacción distrital de Talca

Como ya se ha señalado, el potencial de biomasa para la futura planta de calefacción de Talca a una distancia de 15 km es 16,985 t. Los criterios para la estimación de la demanda de combustible para la planta de calefacción distrital con capacidad de 2 MW son las siguientes:

- la temporada de calefacción comienza el 15 de abril y dura hasta el 15 de octubre;
- residuos leñosos en fardos o paquetes se utiliza como combustible, siendo el valor calorífico de estos residuos en MJ kg⁻¹ a determinar;
- la eficiencia de la caldera del 85%.

Dependiendo de la tecnología aplicada la eficiencia de la caldera puede llegar a ser más alta, pero para los efectos de este estudio y en un enfoque conservador, se adopta una menor eficiencia de la caldera, de esta misma manera la demanda de combustible está sobreestimada en un 10%.

En base a lo anterior, la cantidad de demanda de biomasa agrícola para la planta de calefacción distrital de Talca es de 1,000 t, lo que es una cifra realista en la zona de la ciudad de Talca.

Determinación de biomasa de podas de frutales

Se determinará en terreno la cantidad promedio de podas por hectárea en toneladas (t), para esto se realizarán 30 parcelas de 2.000 m² por especie frutal, y en distintas zonas del área de estudio determinadas al azar. Se registrará por parcela: especie, marco de plantación, edad de la plantación.

En cada parcela se dispondrá a orilla de camino el material podado por hilera, el cual será pesado y extrapolado a la hectárea obteniendo un promedio de toneladas por hectárea potencialmente aprovechable según cultivo. Cabe señalar que *Vitis vinifera* se poda fuertemente anualmente y *Olea Europaea* sufren una poda anual suave y cada dos años se realiza la poda más severa. Por tanto el residuo de la poda de frutales es un recurso asegurado cada año.

Valoración energética de la materia prima recolectada

Se caracterizó energéticamente el material de las tres especies en estudio para establecer su capacidad como biocombustible sólido. La caracterización energética se determinó en materia seca al 0% de humedad. Se pretende conocer el poder calorífico y porcentaje de cenizas.

Poder calorífico: El poder calorífico se define como el calor desprendido por kilogramo de combustible en combustión completa a la presión y temperatura atmosférica normal (Kollman 1959 y Moglia et al. 2007). Su determinación es por norma ISO 18125. Biocombustibles sólidos. Determinación del poder calorífico. Las muestras analizadas son llevadas directamente a laboratorio para su análisis el mismo día de recogida, por lo que no han logrado su secado natural.

Para poder efectuar las pruebas es necesario que las muestras se transformen en fragmentos menores a 5 mm para lo que se usó un molino obteniendo el aserrín.

Cenizas: El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos térmicos de aprovechamiento de la biomasa que incluyen la combustión, es importante conocer el porcentaje contenido de ceniza en la biomasa, ya que en algunos procesos puede causar un deterioro de los equipos por formación de escorias. Su determinación es por norma ISO 18122. Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido en cenizas. Se llevaron a cabo un mínimo de tres determinaciones sobre cada muestra de ensayo.

Luego, tras determinar un periodo de tiempo, la muestra se acondiciona a temperatura ambiente y se vuelve a pesar. El proceso se debe repetir hasta alcanzar peso constante.

EVALUACIÓN SOCIAL DEL PROYECTO

La evaluación social de este proyecto de calefacción distrital se realizó a través del enfoque costo-eficiencia con el fin de identificar la alternativa de solución que presente el mínimo costo para los mismos beneficios. Cabe señalar que se evaluará la situación sin proyecto y la situación con proyecto, de tal forma de poder evaluar cuál de ellas es más conveniente desde el punto de vista técnico-económico, ya que es difícil cuantificar y/o valorar los beneficios de este tipo de proyectos. Por lo tanto, se valorarán los costos involucrados para determinar su factibilidad, tomando en cuenta los indicadores de Valor Actual de Costos (VAC) y Costo Anual Equivalente (CAE) con precios sociales calculados a partir del factor de corrección establecido (Ministerio de Desarrollo Social de Chile 2013), ya que la aplicación de estos indicadores en la evaluación social a menudo es más apropiada, y en la práctica, más empleado (Ander y Aguilar, 2005).

Valor Actual de Costos (VAC): El VAC permitirá comparar alternativas de igual vida útil. Se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$VAC = I_o + \sum_{t=1}^n \frac{c_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

En que I_o es Inversión; y C_t es Costos al final del periodo t .

Criterio de Anualidad Equivalente (CAE): El CAE es una expresión uniforme del comportamiento de ingresos y gastos que ocurren de manera desigual o diversa durante un periodo determinado, esto es, permite comparar alternativas de distinta vida útil. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$CAE = VAC + \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^{n-1}} \quad (3)$$

En que VAC es Valor Actual de los Costos, incluyendo inversión inicial; i es interés; y n es periodo.

Cabe señalar que los costos de operación involucran todos aquellos costos que se incurren hasta la generación de energía (compra de combustible, mano de obra, insumos, transporte, etc). Se debe tener en cuenta que la situación sin proyecto los edificios presentan diferentes formas de alimentación de sus calderas, esto es, leña, gas y petróleo. Los costos de mantención corresponden a los costos de mantener el sistema de calefacción actual en la situación sin proyecto y del sistema de calefacción distrital en la situación con proyecto.



La biomasa leñosa de *Vitis vinífera* y *Olea Europaea* cumple con la normativa internacional en cuanto a calidad por sus propiedades energéticas.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Cuantificación de biomasa de podas de frutales

Se muestrearon 450 individuos por especie en las parcelas muestreadas.

Tabla 2. Toneladas totales disponibles al año por especie

Especies	t ha ⁻¹	t disponibles al año	t realmente aprovechables al año
<i>Vitis vinifera</i>	2.2	26,605.3	6,651.3
<i>Olea europaea</i>	1.3	3,810.6	952.6
Total		30,415.9	7,603.9

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 2 muestra que *Vitis vinifera* entrega una mayor cantidad de poda por hectárea que *Olea Europaea* con 2.2 t ha⁻¹ y 1.3 t ha⁻¹ respectivamente. Además, al haber dentro del área de estudio mayor superficie cultivada de *Vitis vinifera* la biomasa residual es mayor con 26,605.3 t disponibles al año y 3,810.6 t disponibles al año de *Olea Europaea*, sin embargo en un cálculo conservador se estimó un aprovechamiento del 25% del total disponible, lo que da un total real de biomasa disponible al año de 6,651.3 t para *Vitis vinifera* y 952.6 t para *Olea Europaea*.

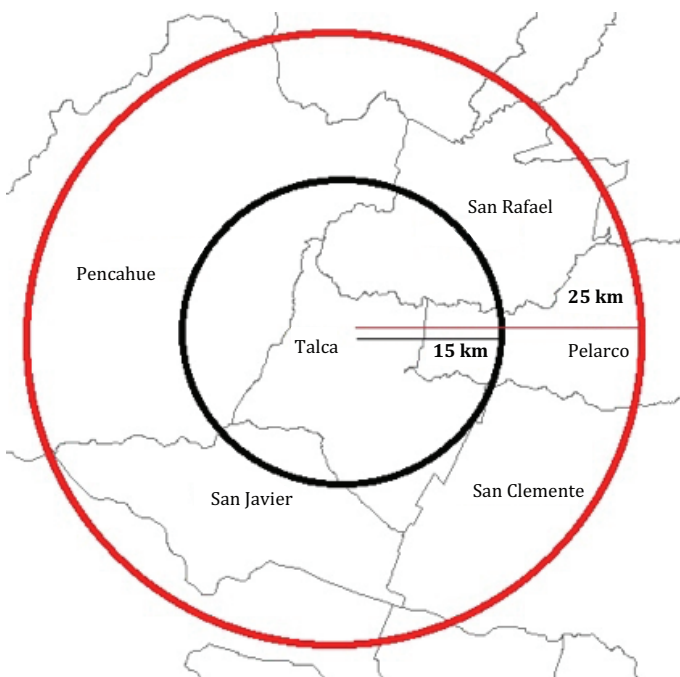
La cantidad de poda determinada en este estudio para *Olea Europaea*, es similar a la obtenida por Fernández-Puratich (2013) que obtuvo 1.1 t ha⁻¹ y por Di Blasi et al. (1997) y Jiménez et al. (1990) quienes obtienen 1,7 t/ha, sin embargo, Sánchez

et al. (2002), obtiene 3,0 t/ha y Voivontas et al. (2001) 2,8 t/ha. Esta diferencia se puede deber a una mayor densidad de plantación por hectárea por estos últimos autores. Se debe tener en cuenta que, antes de comparar resultados de literatura, los autores no especifican, entre otras cosas, si el follaje está incluido en el peso, a diferencia de este estudio que no lo incluye y que sólo toma ramas lignificadas mayores a 1 cm de diámetro. De todas maneras, la diferencia obtenida en los resultados entre estudios obedecerá a las características de cada cultivo frutal (Fernández-Puratich 2013).

Demanda de biomasa para la planta de calefacción distrital de Talca

Según lo mostrado en la tabla 3 la materia prima determinada como aprovechable supera en más de seis veces la biomasa necesitada para alimentar la planta de calefacción distrital, por lo que se estima que el radio de abastecimiento de 25 km inicial puede ser reducido a por lo menos 15 km quedando el área de intervención como muestra la siguiente figura:

Figura 3. Área de abastecimiento para planta de calefacción distrital



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Toneladas totales disponibles al año por especie

Especies	t ha ⁻¹	t disponibles al año	t realmente aprovechables al año
<i>Vitis vinifera</i>	2.2	3,562.3	890.6
<i>Olea europaea</i>	1.3	952.6	238.2
Promedio	1.8	4,514.9	1,128.7

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 3 el potencial de biomasa para la futura planta de calefacción de Talca, a una distancia de 15 km a la redonda, es de 1,128.7 t. Así, la cantidad estimada de demanda de biomasa agrícola para la planta de calefacción distrital de Talca es de 1,000 t para una caldera de 2 MW, lo que es una cifra realista de abastecimiento para la ciudad de Talca. Así, las comunas de Talca, San Rafael y Péncahue son las que más aportan en superficie de frutales al radio determinado de abastecimiento de la planta.

Siendo el total aprovechable de *Vitis vinifera* y *Olea Europaea* de 1,128.7 t, cifra que cubre la demanda de materia prima para alimentar la planta de calefacción distrital de 2 MW.

Valoración energética de la materia prima recolectada

Poder calorífico: A continuación se muestran los datos obtenidos en laboratorio.

Tabla 4. Determinación del PCS y PCI de la madera según especie

Especies	PCS (MJ Kg ⁻¹)	PCI (MJKg ⁻¹)
<i>Vitis vinifera</i>	18.7	17.3
<i>Olea europaea</i>	17.8	16.4
Promedio	18.3	16.9
Desviación estándar	0.45	0.45
Coefficiente de Variación (%)	2.5	2.7

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se aprecia que *Vitis vinífera* posee el mayor PCS con 18.7 MJ Kg⁻¹ a diferencia de *Olea Europaea* con 17.8 MJ Kg⁻¹. Sin embargo la diferencia es de 0.9 MJ Kg⁻¹, lo que no es una diferencia relevante en el potencial energético que presenta una especie con respecto a otra.

Refiriéndose al PCI de *Vitis vinífera* y *Olea Europaea* con 18.7 MJ Kg⁻¹ y 17.8 MJ Kg⁻¹ poseen un PCI aceptable para la norma internacional (ISO 18125) con valores mayores a 16,5 MJ Kg⁻¹.

Se han determinado tanto valores de PCS como de PCI. Sin embargo, en literatura sólo fue posible encontrar valores de PCS. Los valores promedios obtenidos para *Vitis vinífera* el PCS coincide con lo obtenido por García et al (2012) quienes obtienen un promedio de 17.8 MJ Kg⁻¹ y se encuentra dentro del rango de los valores obtenidos por Bilandzija et al (2012), Spinelli et al (2012), Mendívil et al (2013) que van de 17.1 a 19.2 MJ Kg⁻¹, y Fernández-Puratich et al (2015) valores que van desde 16.5 a 18.7 MJ Kg⁻¹. Así para *Olea Europaea* los resultados obtenidos también son semejantes a los obtenidos por Sánchez et al. (2002) obtuvieron 17.9 MJ Kg⁻¹ y Fernández-Puratich (2013) obtuvo 17.4 MJ Kg⁻¹.

El menor PCI encontrado en *Olea Europaea* (16.4 MJ Kg⁻¹) se puede deber a que las muestras tomadas presentan una corteza más gruesa que *Vitis vinifera* (17.3 MJ Kg⁻¹), lo que puede deberse a que está más expuesta a la humedad que el interior, por lo que Vignote y Martínez (2006) señalan que cuando la madera tiene agua su poder calorífico se reduce, por el propio contenido de agua, y porque parte de la energía calorífica de la madera se invierte en evaporar el agua libre o ligada a la pared celular de la madera. En resumen, el poder calorífico se incrementa gradualmente a medida que el contenido de humedad va disminuyendo.

Se desprende que la alternativa con proyecto presenta, a pesar de una mayor inversión, menores costos de mantención.

Porcentaje de cenizas: A continuación se muestran los resultados obtenidos en laboratorio:

Tabla 5. Determinación de cenizas (%) de la madera según especie

Especies	Cenizas (%)
<i>Vitis vinífera</i>	2.5
<i>Olea europaea</i>	2.8
Promedio	2.7
Desviación estándar	0.15
Coeficiente de Variación (%)	5.7

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos en la tabla 5 indican que el promedio general de cenizas para *Vitis vinífera* es de 2.2% y *Olea Europaea* es de 2.8%.

Existen autores que han realizado estudios de cenizas de los residuos de podas de estas especies. Así para *Vitis vinífera*, García et al (2012), Spinelli et al (2012) y Mendívil et al (2013) obtuvieron valores promedios en el rango de 2.4% a 5.3% que son valores que concuerdan con los valores registrados en este estudio. En tanto, en *Olea Europaea* Sánchez et al. (2002) obtuvo un 1,5% y Fernández-Puratich (2013) obtuvo 2.4%. Si bien las cifras del estudio son similares a las obtenidas en la literatura, existe una diferencia entre estudios de hasta 1.3%, lo que se debería a que cada especie se muestreó ya sea en distinto clima, época del año, tipo de suelo, o parte de la planta, y también por la presencia de otros contaminantes adicionales como tierra y arena que contribuyen a aumentar el contenido de ceniza (Knigge y Schulz 1966). Para evitar este aumento del porcentaje de cenizas, se recomienda que en la fase de la entrega de la materia prima en planta los camiones de suministro de biomasa cumplan ciertos requisitos mínimos que aseguren una adecuada humedad a su entrega (Marutzky y Seeger 1999), así como que incluyan equipamientos que permitan el pesado del combustible suministrado (IDAE 2009).

Evaluación Social de factibilidad de la planta

El modelo de evaluación planificado para establecer la planta corresponde a una evaluación social por el método costo-eficiencia, evaluándose estos proyectos a 20 años.

Tabla 6. Evaluación social por el método Costo-Eficiencia sin proyecto

Año	Inversión US\$	Reinversión US\$	Costos de operación sin proyecto US\$	Costos de mantención US\$	Valor residual US\$
0					
1		10,200	49,687	653	
2			49,836	657	
3			49,986	660	
4			50,136	663	
5		17,000	50,286	800	
6			50,437	804	
7			50,588	808	
8			50,740	812	
9			50,892	816	
10		17,000	51,045	820	
11			51,198	824	
12			51,352	828	
13			51,506	832	
14			51,660	836	
15		8,160	51,815	841	
16			51,971	845	
17			52,126	849	
18		8,840	52,283	853	
19			52,440	858	
20			52,597	862	-30,000

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 6 corresponde a la situación sin proyecto, por lo que presenta reinversiones por mejoras en los sistemas actuales de calefacción de los edificios en estudio. El valor de desecho es de US\$ 20,000 que corresponde a la venta de los equipos al año 20. Se consideró un aumento

constante de 3% para cada año tanto en costos de operación como en costos de mantención de los sistemas de calefacción actuales como en la situación con proyecto que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7. Evaluación social por el método Costo-Eficiencia con proyecto

Año	Inversión US\$	Reinversión US\$	Costos de operación sin proyecto US\$	Costos de mantención US\$	Valor residual US\$
0	552,500				
1			2,831	652	
2			2,620	654	
3			2,628	656	
4	32,500		2,636	658	
5			2,644	660	
6			2,652	662	
7			2,659	664	
8			2,667	666	
9			2,675	668	
10		13,000	2,684	670	
11			2,692	672	
12			2,700	674	
13			2,708	676	
14			2,716	678	
15		3,250	2,724	680	
16			2,732	682	
17			2,740	684	
18			2,749	686	
19			2,757	688	
20			2,765	690	-110,500

Fuente: Elaboración propia.

En el año 4 se considera una nueva inversión de US\$ 32,500 por una ampliación la red de calefacción distrital a otro edificio público aledaño a la zona del proyecto, existiendo reinversiones para el mejoramiento de la red, por concepto de nuevos acondicionamientos de la planta y nuevas conexiones por US\$ 16,350 durante los 20 años de la planta. El valor de desecho es mucho más alto (US\$110,500) en

la situación sin proyecto, ya que en la situación sin proyecto los equipos de calefacción de gran parte de los edificios ya han cumplido su vida útil. De esta manera por medio del método de costo – eficiencia, en la tabla 8 se desprende que la alternativa con proyecto presenta a pesar de una mayor inversión, presenta menores costos de mantención.

Tabla 8. Indicadores de decisión de la realización del proyecto

Indicadores	Sin proyecto US\$	Con proyecto US\$
VAC	620,974	590,917
CAE	54,139.32	51,518.82

Fuente: Elaboración propia.

Para la selección de la alternativa sin proyecto o con proyecto se debe tener presente criterios técnicos y económicos. En este sentido, de la tabla 8, se desprende que la alternativa con proyecto presenta menor VAC y menor el CAE. Además, resultan relevantes las diferencias en costos de mantención asociados a la inversión inicial en la ejecución del proyecto. Técnicamente la alternativa con proyecto resulta más conveniente al concentrar la fuente energética (caldera) en un solo equipo, en un solo lugar, a diferencia de la situación sin proyecto que en cada edificio cuenta con un equipo de calefacción lo que afecta principalmente en costos de mantención y de combustible, así el ahorro de costos de la alternativa con proyecto viene dado por una mejor tecnología, más eficiente y por economía de escala por una sola compra de materia prima y no por edificio como lo que ocurre en la situación sin proyecto.

CONCLUSIONES

La biomasa leñosa de *Vitis vinífera* y *Olea Europaea* cumple con la normativa internacional en cuanto a calidad por sus propiedades energéticas y su producción sobrepasa con creces la demanda del proyecto, por lo que existe suficiente cantidad de residuos agrícolas leñosos en el área circundante a la ciudad de Talca a 15 km de radio para una planta de calefacción distrital utilizando biomasa como combustible.

La situación con proyecto es más favorable desde una perspectiva de evaluación social del proyecto por lo que se puede concluir que el proyecto de establecimiento de la planta de calefacción distrital en la ciudad de Talca es factible.

Se recomienda realizar un estudio para agregar a la oferta de materia prima con fines energéticos los residuos leñosos de la mantención de las áreas verdes de la ciudad de Talca, lo que podría dar pie a mayor número de proyectos de calefacción distrital con material combustible de bajo costo.

Técnicamente la alternativa con proyecto resulta más conveniente al concentrar la fuente energética (caldera) en un solo equipo, en un solo lugar, mejor tecnología, más eficiente y por economía de escala por una sola compra de materia prima y no por edificio como lo que ocurre en la situación sin proyecto.



REFERENCIAS

Ander-Egg, E. y M.J. Aguilar. (2005). Como elaborar un proyecto social y cultural. Editorial Lumen/hv Manitas. 18ava Edición. Buenos Aires. 66 pp.

Argibay, J. (2009). Investigación cuantitativa. Subjetividad y Procesos Cognitivos 13: 13-29.

Bilandzija N., N. Voca, T. Kricka, A. Matin, V. Jurisic. (2012). Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia. Agricultural Research; 10(2): 292-298

Blanco J.A., (2012). Forests may need centuries to recover their original productivity after continuous intensive management: an example from Douglas-fir. Sci. Tot. Environ. 437, 91-103.

Di Blasi C., V. Tanzi, M. Lanzetta. (1997). A study on the production of agricultural residues in Italy. Biomass and Bioenergy 12 (5) 321-331

Fernández-Puratich H. (2013). Valorización de la biomasa leñosa agroforestal bajo condiciones mediterráneas. Doctoral thesis, Univ. Politècnica de València, Spain. 2013. p. 354

- Fernández-Puratich H, D. Hernández, C. Tenreiro. (2015). Analysis of energetic performance of vine biomass residues as an alternative fuel for wine industry. *Renewable Energy* 83: 1260-1267.
- García R, C. Pizarro, A.G. Lavín, Bueno JL. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*; 103: 249–258
- Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDEA). (2009). Guía de instalaciones de biomasa térmica en edificios. Min. Industria, Turismo y Comercio de España. 88 pp.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2007). VII Censo Nacional Agropecuario y forestal 2006 - 2007. Santiago, INE, Diciembre 2007. 444 p.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2012). Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2012. Censo Nacional 2012. Santiago, INE, Diciembre 2012. 535 p.
- Jiménez A.L., B.F. López, P.I. Sánchez. (1990). Caracterización de residuos de la tala del olivo para la obtención de pastas celulósicas. *El Papel*, julio-agosto, 57 p.
- Knigge, W, H. Schulz. (1966) *Grundriss der Forstbenutzung*. Pual Parey Vverlag. Hamburgo y Berlin. 583 pp.
- Kollmann, F. (1959). *Tecnologie des Holzes und der Holzwerkstoffe: mit 1194 Abbildungen im Text und 6 Tafeln*. Springer, Berlín, Germany. 676 pp.
- Marutzky R., K. Seeger. (1999). *Energie aus Holz und anderer Biomasse*. DRWVerlag. Leinfelden-Echterdingen
- Martí, E. 2011. Estudio sobre el Aprovechamiento Integral de Biomasa Residual en Enguera. Trabajo Final de Carrera. Gandía. Universidad Politécnica de Valencia. Gandía. 84 p.
- Mendivil, M.A., P. Muñoz, M. Morales, M. Juárez, E. García. (2013). Chemical characterization of pruned vine shoots from La Rioja. *J. Renewable Sustainable Energy*; 5(3):1-13
- Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile. (2013). *Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos*. Div. de evaluación social de inversiones. 128 pp.
- Moglia, J.G., A.M. Giménez, S. Bravo. (2007). Tomo II *Macroscopia de Madera: Orientada a los estudiantes de Carpintería*. Fac. de Cs Forestales, Univ. Nacional de Santiago del Estero. 57 pp.
- Monllor, C. (2012). Sistema de evaluación de extracción de biomasa forestal residual en la Provincia de Valencia. Trabajo Final de Carrera. Universidad Politécnica de Valencia. 75 p.
- Sánchez, S., A.J. Moya, M. Moya, I. Romero, R. Torrero. (2002). Aprovechamiento del residuo de poda del olivar. *Ingeniería Química* 34 (391): 194-202.
- Spinelli, R., C. Nati, L. Pari, E. Mescalchin, N. Magagnotti. (2012). Determining the biomass fuel potential of vineyard pruning residues. *Appl. Energy*; 89: 374–379.
- Sullivan, T., D. Sullivan, P. Lindgren, D. Ransome. (2011). Bioenergy or biodiversity? Woody debris structures. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, Issue 10, Pages 4390-4398
- Vignote Peña, S., I. Martínez Rojas. (2006). *Tecnología de la madera 3ª Edición*. Ed. Mundi-Prensa Libros. Madrid. 200 p.
- Voivontas, D., D. Assimacopoulos, E.G. Koukios. (2001). Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy* 20 (2): 101-112.