

## TABLAS DE CUBICACIÓN DE CHOPO (I-214) CON FINES ENERGÉTICOS A TURNOS MUY CORTOS

García Robredo F. (\*), Izquierdo Osado M.J., Marcos Martín F., Ruiz Castellano J.,  
Villegas Ortiz de la Torre S.

(\* ) Dpto. de Economía y Gestión de las Explotaciones Forestales.

Departamento de Ingeniería Forestal. ETSI Montes.  
Ciudad Universitaria s.n. 28040 Madrid  
tfn: 913367120, 913366396. fax:915439557  
correo electrónico: fmarcos@montes.upm.es

### RESUMEN

En la presente comunicación se presentan los primeros datos de las tablas de cubicación (volumen frente a altura total y diámetro normal con corteza) y la biomasa esperada (kg de materia seca/ha.año) para cultivos energéticos de chopo (*Populus x euramericana*) I-214 en plantaciones realizadas en Cabrerizos (Salamanca). La edad de corta es de 2 años y la finalidad de la plantación es la obtención de biomasa con fines energéticos.

**PALABRAS CLAVE:** Chopo, energía, astilla.

### SUMMARY

Preliminary results for the estimation of 2-way volume equations (volume against total height and dbh) and projected biomass (kg of dry matter / hectare and year) for short rotation poplar crops (*Populus x euramericana*) I-214 in Cabrerizos (Salamanca) are presented in this paper. The rotation is 2 years and the objective of the crop is the obtention of biomass for energy production.

**KEY WORDS:** Poplar, energy, chip.

### INTRODUCCIÓN

El Plan de Fomento de las Energías Renovables de España (IDAE, 2000) contempla como objetivo conseguir para el año 2010 un aumento considerable de la energía procedente de la biomasa. La tabla 1 presenta estas previsiones (en una de las hipótesis consideradas) para el año 2010. Según esta tabla el 55,48% de la producción prevista para ese año debería proceder de cultivos energéticos.

Se piensa fundamentalmente en la paja de cereales y en el cardo (*Cynara cardunculus* L.). En la tabla 2 se señala la productividad de biomasa de cardo (*Cynara cardunculus* L.) en diversas localidades europeas durante dos campañas. Los valores de producciones están expresados en materia seca (Fernández J., 2000). Sin embargo, la biomasa de cardo presenta ciertos problemas en la combustión que no presenta la biomasa de chopo. Los estudios realizados hasta ahora con la biomasa de chopo (San Miguel, 1984, 1992 y Ciria, 1990 tesis doctoral)

se referían a cultivos energéticos de 2 a 5 años. En esta comunicación presentamos las tablas de producción (aún con las limitaciones que supone el disponer aún de pocos árboles tipo) que permitan evaluar la biomasa disponible en un cultivo energético de chopo (*Populus x euramericana* Dode, clon I-214). Esta plantación presenta las siguientes características: Lugar: Cabrerizos (Salamanca, próxima al río Tormes). Nº de pies por hectárea: 33.333. Marco de plantación: 0,33 m x 0,9 m y turno de 2 años.

La especie elegida (*Populus x euramericana* Dode, clon I-214) es especie de crecimiento rápido, madera blanda (los costes de astillado son bajos), alto contenido en carbono (aproximadamente 50% en masa seca) y densidad baja (este es un inconveniente). Estos datos se han obtenido mediante ensayos en el laboratorio de Termodinámica de ETSI de Montes de Madrid realizados por los autores y mediante la consulta de la publicación de Rueda (1997), que facilita una densidad de 0,29 g/cm<sup>3</sup>. Elegimos el clon I-214 por su versatilidad de usos en bastantes provincias españolas. No se debe descartar el empleo de otros clones de la misma especie, como el I-MC y que son analizados, con más detalle, para su uso en Castilla y León por Rueda, et al. (1995). En esa publicación se citan, además del I-214, los *Populus x euramericana Agathe* F., Campeador, Canadá blanco, Flevo, I-MC, I-488, Luisa Avanzo, Triplo, *Populus deltoides x Populus alba* 114/69, *Populus deltoides lux*, *Populus nigra* Tr 56/75, *Populus x interamericana* Beaupré y Raspalje. Para cada localidad concreta debe elegirse el mejor adaptado a ella.

Otras especies leñosas utilizadas en cultivos energéticos de las que tenemos noticias, aparte de los chopos, han sido los sauces (Labrecque, 1995 y 1998) fertilizados con lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), los eucaliptos (ASINEL, 1982; Marcos, 2001) que se utilizan en Brasil en cultivos energéticos para obtener carbón vegetal, las acacias que son invasoras, etc.

La densidad de plantación elegida viene marcada por el marco de plantación: 0,33 m por 0,9 m, debido a que la mula mecánica que trabaja en la escarda entre fila y fila necesita 0,9 m para moverse. También, un operario realizando las labores selvícolas de escarda con mula mecánica (u otras labores que se precisen) puede moverse en una calle de 0,9 m de ancho. Este espaciamiento implica 33.333 pies/ha. En plantaciones energéticas se busca como objetivo la producción de biomasa para combustión y, por tanto, parece claro que sea aconsejable un número alto de pies por hectárea.

El turno buscado ha sido siempre el de dos o tres años. El motivo es procurar que la inversión al agricultor o selvicultor le produzca beneficios lo antes posible y deje de depender de créditos-piraña que tanto benefician a las entidades bancarias y contribuyen a la despoblación rural y, a la larga, a la pérdida de valores culturales y ambientales provocados por esta despoblación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

1) Para obtener las tablas de cubicación.

Una tabla de cubicación es un gráfico, cuadro numérico o expresión matemática que sirve para calcular el volumen de madera de árboles o masas en función de parámetros fácilmente medibles como el diámetro o la altura.

Según la clasificación de Prieto y Hernando (1995), las tablas calculadas en la presente comunicación son tablas de cubicación de árboles individuales de dos entradas y suministran el volumen de un árbol en función de su diámetro normal y su altura total.

Las tablas de cubicación se obtuvieron en primer lugar para 51 árboles. Según conversación personal mantenida con el Dr. Martínez Millán (2001), el principal inconveniente de estas tablas era el escaso tamaño de la muestra empleada en su determinación. Posteriormente se pudo disponer de más muestras, y se realizó el estudio estadístico para un total de doscientos árboles tipo. Aunque las tablas de cubicación así generadas son muy particulares, pues han sido obtenidas para una especie concreta y en un solo lugar, pensamos que pueden ser útiles al poner de manifiesto una metodología apta para evaluar la biomasa de cultivos energéticos de chopo como los aquí considerados. Proponemos el aprovechamiento de la madera y corteza, dejando las hojas en el suelo, para su incorporación como material orgánico, fijación de carbono y mantenimiento de su productividad. Además, las hojas no son beneficiosas en la combustión ya que pueden contener elementos perniciosos en la misma (que aparecen como cenizas, como partículas sólidas en los gases de escape o como gases nocivos).

Para la obtención de la ecuación de volumen se han medido las variables de circunferencia a 1,30 m (de la que se ha obtenido el diámetro normal) y altura total. Utilizando los valores de las variables anteriores medidos en la plantación para doscientos árboles tipo, se obtiene un valor de volumen total para cada pie utilizando una fórmula tronco-cónica, dividiendo el tronco en cuatro trozas. Se presentan los resultados obtenidos.

Se utilizan los valores anteriores como muestra, a la que se aplican métodos de regresión utilizando el programa informático Statgraphics, para obtener una expresión de volumen. Se han considerado como variables independientes la altura (H), el diámetro normal al cuadrado ( $D^2$ ) y el producto de la altura por el diámetro normal al cuadrado ( $D^2 \times H$ ), y se ha procedido a ajustar diferentes ecuaciones por regresión lineal.

Se ha buscado obtener relaciones de las tres variables independientes probando en todos los casos los siguientes modelos, utilizados por otros autores: (J.M.Cuevas, 1989)

Fórmula combinada simple:  $V=a+b(D^2 \times H)$

Fórmula combinada compleja:  $V=a+b(D^2 \times H) + c(D^2 \times H)^2$

Fórmula australiana compleja:  $V=a+b(D^2 \times H)+cD^2+dH$

Fórmula australiana incompleta:  $V=a+b(D^2 \times H)+cD^2$   
 $V=a+b(D^2 \times H)+cH$

2) Para obtener el poder calorífico.

Se ha obtenido el poder calorífico superior anhidro. El procedimiento operativo ha sido el siguiente: Se han recogido muestras de biomasa en la plantación. Se han triturado en martillo eléctrico de laboratorio para mezclar la corteza con madera, obteniéndose así una serie de probetas. Parte de ellas han sido ensayadas en bomba calorimétrica IKA C-4000 obteniéndose el poder calorífico superior húmedo. Con otras probetas se ha medido en estufa la humedad, utilizando una balanza de precisión de 0,0001 g. De esta forma se ha podido obtener el poder calorífico superior anhidro, utilizando la fórmula recomendada por Elvira y Marcos :

$$PCS_H = PCS_0 \cdot (1-H)$$

donde:  $PCS_H$  es el poder calorífico superior a la humedad H.

$PCS_0$  es el poder calorífico superior anhidro.

H es la humedad en base húmeda.

## RESULTADOS

Las ecuaciones obtenidas para cada uno de los modelos anteriores, considerando doscientos árboles tipo, son las siguientes:

$$V = 378.048 + 39.7361(D^2 \times H)$$

$$V = 223.768 + 42.1216(D^2 \times H) - 0.00791(D^2 \times H)^2$$

$$V = 165.925 + 38.0514(D^2 \times H) + 10.583D^2 + 33.0968H$$

$$V = 368.923 + 39.3924(D^2 \times H) + 2.23114D^2$$

$$V = 279.743 + 39.3897(D^2 \times H) + 19.2706H$$

En las que el volumen está medido en  $cm^3$ , y las variables, el diámetro en cm y la altura en m. En la tabla 3 se presentan los valores de los estadísticos  $\bar{r}$  y error estándar para cada una de las expresiones anteriores. Se observa que las ecuaciones que mejor se ajustan son la fórmula combinada compleja, la fórmula australiana completa y la fórmula australiana incompleta, con coeficientes de determinación mayores de 0.94; la mejor de las tres será la primera, con un coeficiente  $r^2$  de 0.9466.

## CÁLCULOS ENERGÉTICOS

Una vez obtenida la cantidad de biomasa seca por hectárea, en toneladas, debemos evaluar el poder calorífico superior anhidro ( $PCS_0$ ) para así obtener la energía esperada por hectárea. Los cálculos del  $PCS_0$  se han realizado mediante ensayo en bomba calorimétrica, IKO C-4000, las pesadas de las probetas y sus ensayos han sido realizados como se detalló anteriormente. Para la ignición se empleó hilo de clavecín de poder calorífico conocido y una presión de obús cercana a los 30 bares. Se realizaron ensayos con dos clones de chopo (I-214 e I-MC). El resultado final del  $PCS_0$ , para el clon I-214 fue de 4618 kcal/kg. Dado que en la bibliografía consultada se han encontrado valores de 4200 kcal/kg, se propone un valor medio de 4409 kcal/kg para utilizar en este tipo de cultivos energéticos.

## CONCLUSIONES

- 1) Las tablas de cubicación (volumen frente a diámetro normal y altura) pueden ser una herramienta muy útil para obtener la biomasa esperada en una plantación de chopo (*Populus x euramericana* Dode, clon I-214), si además conocemos la densidad, como la descrita en la presente comunicación. Los modelos de regresión analizados se consideran útiles y pueden ser extrapolados (modificados convenientemente) a otras localidades.
- 2) En comparación con el cardo (*Cynara cardunculus* L.) el chopo I-214, presenta productividades (toneladas de materia seca por hectárea) similares o mayores. Sin embargo, el chopo I-214 necesita riego, lo que limita y encarece mucho su empleo.
- 3) Los cultivos energéticos de chopo I-214 presentan aspectos muy ventajosos desde el punto de vista de captación de  $CO_2$ .

## BIBLIOGRAFÍA

ASINEL 1992. La biomasa y sus aplicaciones energéticas. ASINEL. Madrid.

CIRIA P. 1990. La biomasa como fuente de energía y productos para la agricultura y la industria. CIEMAT. Madrid.

CUEVAS GONZALO, J.M. 1989 Ecuaciones de cubicación para el haya de la Navarra Orocantábrica. INIA.

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ J. 2000. Posibilidades de producción de biomasa en España mediante el cardo (*Cynara cardunculus* L.) en Jornadas sobre la biomasa en

España. Oportunidades de negocio y posibilidades de mercado. ALTENER - Ministerio de Ciencia y Tecnología - IDAE. Madrid.

IDAE. 2000. Plan de Fomento de las Energías Renovables de España. Ministerio de Ciencia y Tecnología - IDAE. Madrid.

LABRECQUE M. TEODORESCU T.I. AND DAIGLE S. 1995. Effects of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation of twosalix species. A biological purification system. Plant and Soil. 303-316.

LABRECQUE M., TEODORESCU T.I. AND DAIGLE S. 1998. Early performance and nutrition of two willow in short-rotation intensive culture fertilized with wastewater sludge and impact in soil characteristics. Journ. For. Res. 28: 1621-1635.

MARCOS F. 2001. Biocombustibles sólidos de origen forestal. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.

PRIETO RODRÍGUEZ A., HERNANDO PERTIERRA A. 1995. Tarifas de cubicación e inventario por ordenador. E.T.S.I de Montes. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

RUEDA J., CUEVAS Y. Y GARCÍA-JIMÉNEZ C. 1995. Cultivo de chopos en Castilla y León. Junta de Castilla y León. Consej. de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Valladolid.

RUEDA J. 1997. La madera de chopo y sus aplicaciones. Junta de Castilla y León. Valladolid.

SAN MIGUEL AYANZ A. Y MONTOYA J.M. 1984. Resultado de los cinco primeros años de producción de talleres de chopo en rotación corta (2-5 años) en Aranjuez. INIA. Madrid.

SAN MIGUEL AYANZ A., SAN MIGUEL AYANZ J. Y YAGÜE S. 1992. Talleres de chopo a turno corto. 19ª Sesión de la Com. Int. del álamo. Zaragoza 22-25, septiembre, 1992.

Tabla 1. Producción prevista orientativos en 2010 según origen de la biomasa. IDAE (2000).		
Producción	Tep (*)	%
Residuos forestales	219.560	7,57
Residuos agrícolas leñosos	170.780	5,90
Residuos agrícolas herbáceos	658.680	22,72
Residuos industrias forestales y agrícolas	241.554	8,33
Cultivos energéticos	1.608.640	55,48
TOTAL	2.899.214	100,00

(\*) Tep = Tonelada equivalente de petróleo =  $10 \cdot 10^9$  cal

Tabla 2. Producción de <i>Cynara cardunculus</i> en diferentes campañas y localidades. (Fernández, 2000)						
LOCALIZACIÓN DE LOS CULTIVOS	CAMPAÑA 1994-95			CAMPAÑA 1995-96		
	Lluvia (**) mm	Media t/ha	Máxima t/ha	Lluvia (**) mm	Media t/ha	Máxima t/ha
Madrid (España)	280	6,5	8,6	529	16,3	23,1
Toulouse(Francia*)	---	---	---	878	4,5 *	4,9 *
Tebas (Grecia)	490	28,6	35,7	324	27,9	33,4
Forly (Italia)	752	17,5	22,9	837	19,7	24,6
Cerdeña (Italia*)	324	2,7 *	4,7 *	594	8,6 *	12,4 *
Policoro (Italia)	316	7,5	8,2	722	12,9	15,6
Sicilia (Italia)	387	15,9	---	654	12,3	---
Lisboa (Portug.*)	388	3,3	5,5	1220	6,5	8,0
MEDIA GLOBAL	373	11,7	14,3	740	13,7	17,4
MEDIA Representativa	445	15,2	18,9	646	18,0	24,2

(\*) Resultados poco representativos por diversas causas.

(\*\*) Pluviometría de agosto a julio del año siguiente.

Tabla 3. Tablas de cubicación obtenidas (para 200 árboles).		
Ecuación	R cuadrado	Error estándar
$V=a+b(D^2 \times H)$	0.9462	620.305
$V=a+b(D^2 \times H) + c(D^2 \times H)^2$	0.9466	619.926
$V=a+b(D^2 \times H)+cD^2+dH$	0.9463	623.303
$V=a+b(D^2 \times H)+cD^2$	0.9462	621.872
$V=a+b(D^2 \times H)+cH$	0.9463	621.8