



Fuste comercial de clones del género *Populus*: relación entre volumen y densidad de la madera con nutrientes inorgánicos

Commercial wood of clones of genus *Populus*: relationship between growth and density of wood with inorganic nutrients

Gabriela E. Senisterra ¹
Raúl M. Marlats ^{1,2}
María G. Ducid ¹

Originales
Recepción: 12/03/2007
Aceptación: 20/12/2007

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar sobre 10 clones de álamos, provenientes de cruzamientos intraespecíficos de *Populus deltoides* e interespecíficos de *Populus x canadensis*, implantados en Teodelina, Santa Fe, Argentina (34°09' S; 61°15' W), la concentración de nutrientes inorgánicos en su corteza y leño, y sus relaciones con los volúmenes comerciales alcanzados a los 9 años de edad y la densidad básica de la madera. Se apearon ejemplares seleccionados, se calculó su volumen comercial individual y se determinaron la densidad básica y las concentraciones de Ca, Mg, P y K en fuste y corteza. Se realizó análisis de la varianza, test de comparación de medias de Tukey y correlación simple de los diferentes parámetros evaluados. Los resultados arrojaron diferentes contenidos de nutrientes por clon y concentraciones más bajas en la madera que en la corteza, en todos los casos. No hubo correlaciones significativas entre el volumen comercial obtenido, los valores de densidad básica de la madera y los nutrientes inorgánicos, indicando eficiencias individuales en el uso de los recursos inorgánicos.

ABSTRACT

The aim of this study carried out on 10 Poplar clones, originated from intraspecific crossings of *Populus deltoides* and interspecific crossings of *Populus x canadensis*, planted in Teodelina, Santa Fe, Argentina (34°09' S; 61°15' W), was to determine inorganic nutrient concentration in bark and wood and their relations to commercial volume at the age of 9 and their basic wood density. Selected samples were cut and their commercial volume measured. Their basic wood density and Ca, Mg, P and K concentration were established. Analysis of Variance, Tukey's test comparison of means and simple correlation of the different evaluated parameters were performed. The results showed differences in nutrient content per clone. There were no significant correlations between the reached commercial volume, basic wood density and inorganic nutrient values, which showed individual efficiencies in the use of inorganic resources. In all analysed cases, the wood showed lower nutrient concentration than the one present in the bark.

Palabras clave

clones de *Populus* • volumen • densidad de la madera • contenido de nutrientes inorgánicos • relaciones

Keywords

Populus clones • volume • wood density • inorganic nutrient content • relations

- 1 Cátedra de Mejoramiento Genético Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Av. 60 y 119. C. C. 31. (1900) La Plata. gseniste@agro.unlp.edu.ar
- 2 Comisión Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.

INTRODUCCIÓN

En general las plantaciones con destino a la industria papelera son aprovechadas con turnos cortos. Los planes de mejoramiento genético y manejo tienden a acortar los plazos hasta la tala final tratando de alcanzar a edades tempranas características deseables, tales como rápido crecimiento, forma y calidad de la madera, asumiendo plenamente que estos atributos inciden en la calidad del producto final (2). El aprovechamiento en turnos cortos debe respetar uno de los objetivos del manejo forestal sustentable que es mantener la capacidad productiva de los sitios y por lo tanto de las futuras plantaciones (5).

Durante la extracción de madera, fracciones de los nutrientes inorgánicos quedan en el suelo, hojas, ramas y mantillo, mientras que la corteza migra con la madera cosechada (4). Para poder producir en forma sustentable en estos sistemas intensivos de extracción de madera es esencial mantener o mejorar los niveles nutricionales de los suelos (1).

A pesar de la importancia que reviste el tema no abundan los trabajos sobre el contenido mineral del leño y corteza de los álamos. Existen estudios, como el de Fukazawa et al. (6) que con muestras de madera de clones del álamo japonés (*P. maximowiczii*), tomadas a 0,3 y 1,3 m, determinaron la composición química y su variación dentro del individuo, teniendo como principal objetivo un mejor conocimiento del álamo y radicando su importancia en la aptitud papelera del leño. Otros como Swamy et al. (10) compararon crecimiento, biomasa y distribución de nutrientes en 5 clones de *Populus deltoides* creciendo en sistemas agrosilvícolas, sin determinar coeficientes de correlación entre estas variables.

En otras especies forestales existen estudios sobre la exportación de nutrientes y su importancia, que apuntan a la sustentabilidad de estos sistemas (1, 5, 7, 10).

En cuanto a calidad de la madera, la densidad básica es la característica más importante, pues resulta el principal factor que afecta la aptitud de la misma y la de sus productos manufacturados (2, 3, 9, 11). La premisa es aumentar la sustentabilidad, obteniendo mayores volúmenes de madera con densidades adecuadas del leño, tratando de disminuir la extracción de nutrientes del sistema.

La hipótesis de trabajo plantea que los niveles de nutrientes en la madera pueden asociarse positivamente a volúmenes comerciales de cosecha y valores de densidad básica de la madera de álamo.

Objetivo

- Determinar en la corteza y leño de diferentes clones de álamo la relación entre las concentraciones de calcio, magnesio, fósforo y potasio con los volúmenes comerciales obtenidos a los 9 años de edad y la densidad básica de la madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó sobre 10 clones provenientes de cruzamientos intraespecíficos de *P. deltoides* e interespecíficos de *P. x canadensis* instalados en un ensayo de 9 años de edad, en Teodelina (34°09' S; 61°15' W) Santa Fe, Argentina. Los clones, sus orígenes parentales y sus procedencias se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Clones evaluados: origen parental y procedencia.

Nombre del clon	Origen parental y procedencias originales
<i>Populus deltoides</i> '610-11' <i>Populus deltoides</i> '610-31'	<i>P. deltoides</i> '129/60' x <i>P. deltoides</i> 'Stoneville 107'. Creados en INTA Castelar, 1982.
<i>Populus x canadensis</i> '568-1'	<i>P. deltoides</i> '129/60' x <i>P. nigra</i> var. <i>Itálica</i> . Creado por INTA Castelar, 1982.
<i>Populus deltoides</i> '564-17'	<i>P. deltoides</i> 'Stoneville 81' x <i>P. deltoides</i> 'Stoneville 107'. Creado por INTA Castelar, 1982.
<i>Populus x canadensis</i> 'SIA 22/85'	<i>P. x canadensis</i> . España, introducidos por CIEF, 1992.
<i>Populus x canadensis</i> 'Conti 12'	<i>P. x canadensis</i> . Italia.
<i>Populus x canadensis</i> 'Cappa Bigliona' <i>Populus x canadensis</i> 'Triplo' <i>Populus x canadensis</i> '2000 Verde' <i>Populus x canadensis</i> 'Bl. Constanzo'	<i>P. x canadensis</i> . Italia. Introducidos por IfoNa.

La evaluación se realizó a partir de individuos implantados con un distanciamiento de 3 m entre filas y 3 m entre plantas, equivalente a una densidad de 1.111 plantas por ha. Se seleccionaron cinco árboles por clon sin condición de borde, los cuales presentaban buen estado sanitario, fuste derecho y poco ramificado. Con estas precauciones se intentó evitar situaciones diferenciales que pudieran distorsionar los orígenes de variación de los parámetros en estudio. Los ejemplares seleccionados fueron marcados en su posición cardinal norte (N) y apeados; fue medido su diámetro altura de pecho (DAP) y su altura total con cinta métrica y calculado su volumen comercial con punta fina igual o mayor a 7 cm de diámetro por el método de Smalian en trozas de 2 m de longitud.

A los árboles de cada clon se les cortaron dos rodajas a 1,30m (DAP) del fuste de 3 cm de espesor. Previo descortezado se determinó la densidad básica según la norma TAPPI 258-om-94 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), calculándose la misma por el cociente entre peso seco de la muestra y su volumen saturado.

En la otra rodaja se estableció la concentración de P, Ca, K y Mg en corteza y madera. Se realizó con digestión seca y evaluación colorimétrica en el caso de P, fotometría de llama para K y complejometría para Ca y Mg (8). Cabe destacar que la valoración a 1,30 m DAP está altamente correlacionada con los contenidos en otras porciones del fuste (6).

Los resultados fueron evaluados a través de un análisis paramétrico de la varianza y test de comparación de medias de Tukey.

El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = valor fenotípico medio del carácter Y evaluado en el tratamiento i

μ = media general del experimento

C_i = efecto del clon

e_{ij} = error experimental

Se realizó la correlación simple de los resultados de los diferentes parámetros evaluados por medio de un modelo lineal expresado por:

$$Y = a + b \cdot X$$

donde:

Y = variable dependiente

X = variable independiente

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se consignan los resultados de las densidades de las maderas y los de las evaluaciones volumétricas comerciales.

Tabla 2. Valores de densidad básica de la madera y volumen comercial por clon.

Clones	Densidad (g/cm ³)	Volumen comercial del árbol medio (m ³)
610-31	0,342 (0,007) a	0,583 (0,063) ab
568-1	0,333 (0,012) ab	0,429 (0,152) bcde
2000 Verde	0,332 (0,012) abc	0,237 (0,079) e
SIA 22/85	0,331 (0,007) abc	0,281 (0,143) de
610-11	0,325 (0,006) abc	0,386 (0,113) bcde
564-17	0,320 (0,005) bcd	0,526 (0,100) ab
Tripló	0,314 (0,004) cde	0,696 (0,135) a
Conti 12	0,304 (0,010) de	0,429 (0,108) bcde
Cappa Bigliona	0,300 (0,004) ef	0,478 (0,111) ab
Bl. Constanzo	0,298 (0,005) ef	0,437 (0,081) bcde

Test de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$).

Letras iguales agrupan clones sin diferencias significativas.

Entre paréntesis figuran los desvíos estándares.

Para la densidad básica de la madera el valor máximo fue de 0,342 gr/cm³ y el mínimo de 0,298 gr/cm³, respectivamente. En este parámetro, dentro del primer grupo sin diferencias significativas, se destacan por su mayor densidad los clones 610-31,

568-1, 2000 Verde, SIA 22/85 y 610-11. Los clones de menor densidad: Cappa Bigliona y Bl. Constanzo integraron parte del último grupo, con diferencias significativas respecto de los cuatro primeros.

Tomando como antecedente el trabajo de Senisterra et al. (9), los valores hallados en el presente estudio no difieren significativamente del referenciado, lo cual indicaría que la densidad básica de la madera se encuentra bajo un fuerte control genético.

Como los álamos tienen excelentes rendimientos volumétricos es importante determinar la influencia del crecimiento en la densidad. La correlación entre el volumen medio de cada clon y su densidad básica proporcionó un valor no significativo estadísticamente de -0,4 ($p = 0,249$).

Los resultados muestran que altos volúmenes no necesariamente están acompañados de bajas densidades, por lo tanto es factible hallar la combinación de alto crecimiento y alta densidad en un mismo clon.

Hay trabajos que indican una correlación negativa entre la densidad y el crecimiento (11), en tanto que para Beaudoin et al. (3) la densidad básica de la madera no necesariamente se correlaciona en forma negativa con el volumen producido. Encontrar las conjunciones favorables en las cuales calidad y velocidad de crecimiento no estén en oposición es fundamental para los planes de mejoramiento (2).

Los resultados de los análisis de los componentes minerales de la madera y la corteza estudiados, expresados en las tablas 3 y 4 (pág. 54), ponen de manifiesto diferencias significativas entre clones, exceptuando el Ca en corteza y el Mg en madera. En todos los casos, el leño presentó valores más bajos de concentración de nutrientes que la corteza.

Limitándose sólo a híbridos intraespecíficos, Fukazawa et al. (6) hallaron diferencias en la composición química entre clones de álamo japonés (*P. maximowiczii*) tomadas a 0,3 y 1,3 m del fuste.

Resulta importante la discriminación de los contenidos de nutrientes entre corteza y leño. Laclau (7) determinó que el mayor potencial de impacto de migración de nutrientes lo constituye el sistema en el que el fuste se extrae con la corteza incluida, confirmando la necesidad de dejar la corteza en el sitio, reduciendo de esta manera más del 50% de pérdidas de Ca y Mg.

Ceballos et al. (4) también estudiaron la distribución de biomasa en plantaciones de *Populus deltoides* (Australia 129/60) y hallaron que el 64% pertenecía al fuste y el resto se distribuía entre la corteza, ramas, hojas y brotes. Estos valores refuerzan las recomendaciones sobre cómo tratar los residuos de la cosecha forestal, ya que serían clave a la hora de contribuir a restituir parte de los elementos inorgánicos extraídos por los árboles (5).

Tabla 3. Resultados de los análisis de los componentes minerales de la madera de los diferentes clones.

Clon	Ca (meq/100 g)	Mg (meq/100 g)	K (meq/100 g)	P (%)
2000 Verde	14 b	3,41 a	8,09 ab	0,0047 a
564-17	13,82 b	2,93 a	8,43 ab	0,0072 ab
568-1	8,61 a	2,77 a	6,46 a	0,0099 abc
610-11	9,4 a	5,47 a	9,24 ab	0,0098 abc
610-31	9,3 a	3,54 a	12,8 b	0,0119 abc
Bl. Constanzo	7,26 a	2,53 a	6,77 a	0,0165 c
Cappa Bigliona	7,15 a	5,85 a	6,51 a	0,014 bc
Conti 12	10,02 a	5,25 a	7,9 ab	0,0137 bc
SIA 22/85	7,1 a	4,58 a	6,75 a	0,0111 abc
Triplo	9,22 a	4,43 a	8,62 ab	0,0102 abc

Test de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$).
Letras iguales agrupan clones sin diferencias significativas.

Tabla 4. Resultados de los análisis de los componentes minerales de la corteza de los diferentes clones.

Clon	Ca (meq/100 g)	Mg (meq/100 g)	K (meq/100 g)	P (%)
2000 Verde	75,61 a	25,93 ab	19,33 e	0,069 b
564-17	59,40 a	19,11 a	2,42 a	0,022 a
568-1	49,70 a	52,49 bc	7,77 ab	0,059 b
610-11	61,49 a	32,76 abc	8,80 abc	0,047 ab
610-31	65,94 a	46,48 abc	13,04 bcde	0,048 ab
Bl. Constanzo	63,87 a	27,74 ab	11,18 bcd	0,052 b
Cappa Bigliona	74,67 a	25,76 ab	10,84 bcd	0,045 ab
Conti 12	64,49 a	63,48 c	13,10 bcde	0,053 b
SIA 22/85	63,97 a	52,19 abc	14,56 cde	0,070 b
Triplo	71,07 a	37,74 abc	15,90 de	0,066 b

Test de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$).
Letras iguales agrupan clones sin diferencias significativas.

La relación entre la densidad básica de la madera y el volumen comercial de los clones con respecto a los nutrientes inorgánicos contenidos en el leño se expresan en la tabla 5.

Tabla 5. Correlación de la densidad básica del leño y la volumetría comercial vs. nutrientes inorgánicos del leño.

	Ca (meq/100 g)	Mg (meq/100 g)	K (meq/100 g)	P (%)
Densidad básica de la madera (g/cm^3)	0,29 ns (0,413)	0,27 ns (0,431)	0,50 ns (0,132)	0,63 ns (0,053)
Volumetría comercial (m^3)	0,27 ns (0,434)	0,27 ns (0,446)	0,15 ns (0,671)	0,36 ns (0,294)

Entre paréntesis figuran los valores de probabilidad.

Los coeficientes de correlación (r) calculados entre densidad-nutrientes y volumen-nutrientes no fueron significativos y variaron entre 0,15 y 0,63. La situación más cercana a la probabilidad significativa es entre el porcentaje de fósforo y la densidad básica de la madera.

Según lo publicado por Swamy et al. (10), los mayores volúmenes de biomasa coinciden con las concentraciones de N, P y K más elevadas en fuste y hojas. En el trabajo de referencia no aparecen análisis de correlación.

No se encontraron correlaciones significativas, lo que resultaría alentador a la hora de seleccionar clones. Mejores crecimientos y densidades no estarían forzosamente asociados a mayores consumos de nutrientes, lo cual es esencial cuando se trata de mantener los niveles nutricionales del suelo (1).

Esta inferencia primaria permitiría promover la realización de selecciones por densidad básica de la madera y volumen, atendiendo a la reposición de nutrientes, con el fin de producir en forma sustentable.

CONCLUSIONES

- ❖ No se verificó la hipótesis de trabajo pues diferentes niveles de contenidos de nutrientes no se correlacionaron significativamente con el volumen comercial obtenido y los valores de densidad básica de la madera de álamo, indicando eficiencias individuales en el uso de los recursos inorgánicos.
- ❖ La densidad básica de la madera no se asoció significativamente al volumen comercial obtenido.
- ❖ La madera presentó concentraciones más bajas de P, Ca, Mg y K que la corteza en todos los casos, lo cual es un indicador del beneficio del descortezado en el monte y la distribución de lo obtenido en el terreno cosechado.
- ❖ El conocimiento de la concentración de los nutrientes en la madera y corteza orienta en la importancia de su migración durante la cosecha y, por lo tanto, hacia las dosis de fertilización reconstitutiva, lo cual contribuye a la persistencia de los sistemas forestales como los del presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aparicio, J. L. 2005. Experiencias en Brasil sobre nutrición forestal y preparación mínima del terreno: temas claves para la producción sustentable de madera. SAGPyA. Forestal N° 34. p. 8-13.
2. Barnett, J. R. ; G. Jeronimidis. 2003. Wood quality and its biological basis. Blackwell Publishing and CRC Press. 226 p.
3. Beaudoin, M.; R. E. Hernández; A. Koubaa ; J. Poliquin. 1992. Interclonal, intraclonal and within-tree variation in wood density of poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science. 24(2): 147-153.

4. Ceballos, D.; E. F. Tschieder; J. Álvarez; N. del Tufo; C. Pérez; J. F. Goya. 2006. Biomasa de árboles de *Populus deltoides* (Australia 129/60) en sistemas endicados del Bajo Delta del Río Paraná. Actas de las Jornadas de Salicáceas. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. p. 250-256.
5. Fernández, R. A. 2002. Estrategias para minimizar los impactos de la cosecha forestal. Balance de nutrientes y condiciones físicas del suelo. Actas de las XVII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia. Octubre 2000: X-1-21.
6. Fukazawa, K.; M. Ujiie; K. Y. Lee; T. Ishii. 1985. Inorganic constituents in wood in relation to wetwood and crystal formation. Proceedings Symposium on Forest Products Res. Intern. Achievements and the Future, Pretoria (South Africa). 1(15-16): 1-9.
7. Laclau, J. P. 2000. Dynamics of biomass and nutrient accumulation of Eucalyptus in Congo. Forest Ecology and Management 128: 181-192.
8. Malavolta, E.; G. C. Vitti; S. A. Olivera. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2^{ed} Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 319 p.
9. Senisterra, G. E.; M. G. Ducid; R. M. Marlats. 2005. Variación de la densidad básica de la madera en clones del género *Populus*. III Congreso Latinoamericano y Argentino. Asociación Forestal Argentina. Corrientes, Argentina. p. 1-8.
10. Swamy, S. L.; Alka Mishra; S. Puri. 2006. Comparison of growth, biomass and nutrient distribution in five promising clones of *Populus deltoides* under an agricultural system. Bioresource Technology. 97: 57-68.
11. Yanchuk, A. D.; B. P. Dancik; M. M. Micko. 1984. Variation and heritability of wood density and fibre length of trembling aspen in Alberta Canadá. Silvae Genetica. 33(1): 11-16.