

Facultad de Ciencias  
Agrarias y Forestales



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

## TRABAJO FINAL DE CARRERA

Facundo Gabriel Heinzle

# ESTABILIDAD FENOTÍPICA DE *Populus x canadensis* 'Conti 12' EN DIFERENTES MARCOS DE PLANTACIÓN

Director: Ing. Forestal Jorge Luis Marquina

Profesor Adjunto Cátedra de Mejoramiento Genético Forestal - FCA y F, UNLP

Co-director: Ing. Forestal Dino Andrés Palazzini

Ayudante Diplomado Cátedra de Mejoramiento Genético Forestal - FCA y F, UNLP

Modalidad: Investigación.

Fecha de entrega: 04 de Agosto de 2020

1 **RESUMEN**

2 El objetivo del trabajo fue estudiar la estabilidad fenotípica de *Populus x canadensis* `Conti  
3 12' en plantaciones de 10 años de edad, creciendo en cinco marcos de plantación  
4 diferentes, ubicadas en Alberti, Provincia de Buenos Aires (34° 50' S; 60° 30' W; 55  
5 msnm). El rango de áreas de incidencia evaluadas fue de 6,25 m<sup>2</sup> a 12,25 m<sup>2</sup> por árbol.  
6 La evaluación de la estabilidad se realizó en las variables Diámetro a la Altura del Pecho  
7 (**DAP**), Altura Media (**AM**) y Altura Media del cuartil superior (**AM del cuartil superior**). Se  
8 realizaron análisis de la varianza, utilizando como fuentes de variación al marco de  
9 plantación, los bloques (**Cuadros**) y la interacción entre ambos (**Cuadro x Marco de**  
10 **Plantación**); la comparación de medias se realizó mediante el test de Tukey; se ajustaron  
11 4 rectas por cada variable en estudio entre Áreas de Incidencia consecutivas. Los análisis  
12 de la varianza mostraron al marco de plantación como factor de efecto estadísticamente  
13 significativo para las 3 variables. Se observó una menor estabilidad entre las menores  
14 Áreas de incidencia para las tres variables estudiadas, y mayor estabilidad entre las Áreas  
15 mayores; las rectas ajustadas permitieron cuantificar la estabilidad. A mayor Área de  
16 Incidencia, mayores fueron los valores que alcanzaron las variables.

17 Palabras clave: *Populus x canadensis*, marcos de plantación, estabilidad fenotípica.

18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26

## 27 INTRODUCCIÓN

28 Si bien históricamente la madera de coníferas provenientes de bosques naturales del  
29 hemisferio norte ha dominado el escenario de la producción papelera a nivel mundial, a  
30 partir de la década de 1950 se comenzó a hacer hincapié en la producción de pulpa de  
31 madera de latifoliadas. Esta tendencia fue acompañada por un desplazamiento hacia el  
32 hemisferio sur de las plantaciones forestales, llegando a regiones australes de América  
33 Latina (Area & Popa, 2014). Por otro lado, según la FAO (2016), entre los años 2010 y  
34 2014 la producción mundial de madera con destino pulpable alcanzó valores similares a  
35 los de otros destinos, como la producción de madera con destino aserrado.

36 En Argentina, desde el año 2004 la renta del sector forestal representa alrededor del 0,1%  
37 del producto bruto interno (PBI) del país (Banco Mundial, 2019). Según el Informe Forestal  
38 presentado por el Ministerio de Agroindustrias, en el año 2016 la producción de álamo  
39 representó un 6% del total de rollizos destinados a la industria de celulosa y papel. Esto  
40 coloca al género en el tercer lugar luego de los géneros *Pinus* y *Eucalyptus*. Ese mismo  
41 año estas Industrias dieron lugar a 7.865 puestos de trabajo permanentes y 673 trabajos  
42 temporarios. Según este Informe, la producción de madera de álamo provino  
43 principalmente de la provincia de Buenos Aires, repartida en igual proporción entre el  
44 sistema deltaico del Río de la Plata y la porción continental. La siguieron en importancia,  
45 la producción del sistema deltaico de la provincia de Entre Ríos, y de la provincia de  
46 Santa Fe (van Haeften & Frisa, 2017).

47 El género *Populus* presenta una extensa distribución natural, principalmente en el  
48 hemisferio norte, pues se extiende desde el círculo polar ártico hasta el paralelo 30 donde  
49 se los puede encontrar de forma aislada en los bosques o formando pequeños macizos.  
50 Son pocas las especies del género que se encuentran naturalmente en el hemisferio sur.  
51 Se caracterizan por desarrollarse en sitios con abundancia de agua y elevada radiación  
52 solar, por lo que es frecuente encontrarlos en la rivera de los ríos y arroyos, donde se los

53 considera como una especie pionera (Cortizo, 2011). Es un género compuesto por  
54 especies arbóreas, caducas, monoicas, con hojas simples y alternas, largamente  
55 pecioladas. El fruto es una cápsula dehiscente, en el interior de la cual se encuentran  
56 numerosas semillas pequeñas y recubiertas de vilano blanco similar al del algodón, lo que  
57 permite su dispersión anemófila. Son especies de rápido crecimiento y no muy longevas,  
58 aunque se han encontrado ejemplares de hasta 300 años. La presencia de yemas  
59 subcorticales permite la reproducción agámica mediante guías o estacas, lo que junto con  
60 su rápido crecimiento hacen de este género un candidato ideal para la búsqueda de  
61 individuos mejorados. Gracias al desarrollo de ejemplares seleccionados y de híbridos, se  
62 ha podido aumentar la productividad, mejorar la calidad de la madera, permitir su cultivo  
63 en sitios marginales, reducir los turnos de corta, facilitar el establecimiento de las  
64 plantaciones, entre otras ventajas (Cortizo, 2011).

65 La producción de álamos en la porción continental de la provincia de Buenos Aires  
66 presenta diversas características. Son plantaciones que crecen sobre suelos de alta  
67 aptitud agrícola, y que permiten su desarrollo en condiciones de secano, sin presentar  
68 riesgos de inundación y con aptitud para mecanizar las tareas. Si bien esta producción  
69 responde a una demanda fija, se presenta como un reservorio de madera ante el eventual  
70 déficit de la producción del Delta, ocasionado por las frecuentes inundaciones ocurridas  
71 en esta zona. Como desventaja, estas plantaciones presentan elevados costos de  
72 transporte por encontrarse lejos de los principales centros industriales y de consumo  
73 (Achinelli, 2006).

74 El potencial productivo de *Populus* spp en la Pampa húmeda ha suscitado el interés de  
75 diversas investigaciones. Marquina et al.(2012), caracterizaron la evolución de la densidad  
76 del área basal y de la estructura en rodales de *Populus x canadensis* creciendo en  
77 distintos marcos de plantación; Marlats et al. (2004) estudiaron la altura media dominante  
78 y su estabilidad en clones, creciendo en tres ambientes de la Pampa ondulada; Senisterra

79 et al. (2011), estudiaron la interacción entre los parámetros de crecimiento y supervivencia  
80 de clones de *Populus* spp en dos micrositios (loma y bajo) en la región pampeana;  
81 Palazzini (2015) estudió la estabilidad fenotípica de *Populus deltoides* 'Delta Gold'  
82 ('Stoneville 66') a los 10 años de edad creciendo en distintos marcos de plantación.

83 *Populus x canadensis* (anteriormente *Populus x euroamericana*), resulta de la hibridación  
84 entre *Populus nigra* y *Populus deltoides*. Diversos clones de dicho híbrido fueron  
85 introducidos al país por el profesor Dr. Marcelo Conti en el año 1939, en uno de sus viajes  
86 a Italia, su país natal, pero al extraviarse la designación original, se los conoce  
87 actualmente bajo la denominación de 'Conti 12' (Ragonese et al.1987). Este clon se  
88 incorporó con éxito a las plantaciones del valle de Río Negro y Mendoza, mientras que en  
89 el Delta del río Paraná se evita su cultivo, debido a la susceptibilidad que presenta en la  
90 región a la “Cancrosis del álamo” (*Septoria musiva*) (Senisterra et al., 2012). En la Pampa  
91 húmeda su madera se utiliza para triturado, destinándose para su cultivo los sitios de  
92 suelos más arenosos o, en el otro extremo, con problemas de drenaje, debido a su mayor  
93 adaptabilidad (en contraposición a *Populus deltoides*, al que se destinan los mejores  
94 suelos (Achinelli, 2006). Dicho álamo se encuentra inscripto en el Registro Nacional de  
95 Cultivares (RNC) del Instituto Nacional de Semillas (INASE) desde el año 2011 (Comisión  
96 Nacional del Álamo, 2016), y en la Pampa húmeda ha sido motivo de diversos estudios en  
97 los últimos 20 años. Ensayos de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio (Achinelli et  
98 al., 2003), susceptibilidad a *Septoria musiva* (Senisterra et al., 2012), respuesta clonal de  
99 crecimiento según el tipo de suelo (Baridón et al., 2008), son algunos ejemplos.

100 Los principales factores silvícolas que determinan la producción forestal son: el material  
101 genético, la calidad de sitio, los tratamientos intermedios y técnicas de establecimiento, la  
102 densidad de plantas y los turnos de corta (Daniel et al., 1982). El desafío de la producción  
103 es conjugar estos factores de modo de alcanzar el máximo crecimiento. De los mismos, la  
104 densidad y el material genético tienen un rol particular; éstos son factores sobre los que el

105 productor tiene poder de decisión, pero que una vez elegidos es difícil, imposible o muy  
106 costoso cambiar. Muchas veces, la separación entre filas y plantas, está definida por el  
107 ancho de labor de la maquinaria disponible, y puede variar según el destino de la  
108 producción y la calidad de sitio. Así, en la Pampa húmeda, producciones de madera para  
109 triturado suelen plantarse a densidades de entre 1143 y 1020 plantas por hectárea,  
110 mientras que, si el destino es madera para debobinado o aserrado, las densidades suelen  
111 ser de 1111 a 625 plantas por hectárea (Achinelli, 2006). La variable operativa que define  
112 la densidad es el marco de plantación, el cual representa las dimensiones de una malla de  
113 arreglo normalmente cuadrangular o rectangular en cuyos nodos se disponen las plantas  
114 (Sevilla Martínez, 2001). Los marcos típicamente utilizados cuando el destino es la  
115 molienda son de 2,5 m x 3,5 m o de 2,8 m x 3,5 m. Cuando el destino es aserrado, la  
116 distancia entre plantas aumenta a 3 m x 3 m; 2,5 m x 4 m; 2,5 m x 5 m y hasta 4 m x 4 m  
117 (Achinelli, 2006).

118 En un sentido agronómico, la estabilidad fenotípica de una especie forestal se refiere a la  
119 capacidad de la misma de presentar crecimientos predecibles frente a variaciones en el  
120 ambiente (Cubero & Flores, 1995). Estas variaciones pueden referirse a diversas  
121 variables, por ejemplo, en las condiciones climáticas (temperatura, precipitaciones, etc),  
122 en las condiciones de suelo y topográficas, o en el grado de competencia entre individuos  
123 (Zobel, 1988). Así, si se tomase en cuenta la última variable, individuos de un mismo  
124 genotipo creciendo en distintas situaciones de competencia podrían presentar valores  
125 similares de crecimiento (en cuyo caso se trataría de un fenotipo estable) o valores muy  
126 disímiles de crecimiento, con lo cual diríamos que se trata de un fenotipo poco estable o  
127 muy inestable (Cubero & Flores, 1995). En una plantación forestal monoespecífica y  
128 coetánea, un indicador del grado de competencia es la densidad de plantación, en tanto  
129 que refleja el número de plantas por hectárea (Reineke, 1993). Según fue mencionado, el  
130 marco de plantación es uno de los factores de la producción sobre los que el productor

131 tiene poder de decisión, y que determina la producción obtenida. De lo dicho deviene el  
132 interés de estudiar la estabilidad fenotípica de *Populus x canadensis*, tomando en cuenta  
133 la competencia entre ejemplares vecinos como variable ambiental, representada por la  
134 densidad de plantas, definida por los marcos de plantación.

135

## 136 **OBJETIVO**

137 El objetivo del trabajo es estudiar la estabilidad fenotípica de *Populus x canadensis* 'Conti  
138 12' en plantaciones de 10 años de edad, creciendo en cinco marcos de plantación  
139 diferentes.

140

## 141 **MATERIALES Y MÉTODOS**

142 Se trabajó con ejemplares de *Populus x canadensis* 'Conti 12' de 10 años de edad,  
143 obtenidos de estacas de 80 cm de longitud, provenientes de la parte central de guías  
144 cosechadas de estaqueros pertenecientes a la empresa Papel Prensa S.A., instalados a  
145 partir de material otorgado por la Estación Experimental Agropecuaria Delta (INTA). La  
146 preparación del suelo para la plantación fue mecánica, y posteriormente no se realizaron  
147 ni podas ni raleos. Al momento de las mediciones, el ensayo se encontraba en estado  
148 fisiológico normal y buen estado sanitario.

149

### 150 **Ubicación del ensayo y características climáticas.**

151 El ensayo en el cual se trabajó se ubica en el establecimiento María Dolores de la  
152 empresa Papel Prensa S.A. (34° 50' S; 60° 30' W; 55 msnm), situado en el Partido de  
153 Alberti, Provincia de Buenos Aires (Pampa húmeda). El suelo corresponde a un Hapludol  
154 Típico, Limosa fino, mixto, térmico (USDA-Soil Taxonomy, 2006); es profundo y liviano, de  
155 buena aptitud agrícola, se encuentra en un paisaje suave a suavemente ondulado que  
156 ocupa un relieve de lomas de la Subregión Pampa arenosa, bien drenado, desarrollado

157 sobre sedimentos loésicos franco arenosos que evoluciona sobre antiguos médanos  
158 estabilizados, remodelado en épocas más secas, no alcalino, no salino, con pendiente de  
159 0-1 %. Posee una capacidad de uso tipo II s con índice de productividad 79,6. Los  
160 componentes que conforman la asociación, así como su porcentaje y posición en el  
161 terreno son: 1. Serie Bragado, 70% en lomas; 2. Serie Norumbega, 15% en lomas; 3.  
162 Serie Henry Bell, 15% en bajos. En general, el cultivo de *Populus* requiere suelos sueltos,  
163 bien aireados, profundos, con bajo contenido en arcilla (inferior al 15%), prefiriendo las  
164 texturas francas o franco-arenosa, y no susceptibles de sufrir encharcamientos  
165 frecuentes, que provoquen asfixia radical, pero con capacidad de retención de agua. El  
166 pH debe situarse próximo a la neutralidad (entre 6 y 8), con contenidos en materia  
167 orgánica superiores al 2% y concentraciones de caliza activa inferior al 6%, así como  
168 ausencia de salinidad (Hortensia et al., 2010). Baridón et al. (2008), caracterizó el suelo  
169 en el sitio de estudio y concluyó que el mismo cumple con los requisitos para un apto  
170 crecimiento del género *Populus*.

171 La clasificación climática de Köppen-Geiger ubica a esta zona dentro del tipo climático  
172 Cfa, denominado *clima templado lluvioso, sin estación seca y con verano caluroso*. Este  
173 tipo climático se caracteriza por temperaturas medias del mes más frío entre -3 y 19 °C,  
174 temperaturas medias del mes más cálido superiores a 22 °C y por la ausencia de una  
175 estación seca (lluvias uniformes durante todo el año) (Kotteket al., 2006). *Populus* tolera  
176 muy diversas situaciones climáticas, siempre que dispongan de agua (Hortensia et al.,  
177 2010).

178

#### 179 **Método de evaluación de la estabilidad fenotípica.**

180 La estabilidad fenotípica se estudió en relación a cinco marcos de plantación, los que  
181 conformaron los tratamientos, en parcelas de 6 filas x 6 hileras y doble bordura, en tres  
182 bloques. Los mismos fueron: 2,5 m x 2,5 m; 2 m x 3,5 m; 2,5 m x 3,5 m; 2,8 m x 3,5 m y

183 3,5 m x 3,5 m con parcelas de superficie que varió entre 225 m<sup>2</sup> y 441 m<sup>2</sup>, dependiendo  
184 del marco. Los 3 marcos intermedios en área de incidencia son de uso habitual en el  
185 Establecimiento y la región (Achinelli, 2006), y se agregaron uno por encima y otro por  
186 debajo para ampliar el rango estudiado.

187 El establecimiento organiza sus plantaciones en Sectores (S), y Cuadros (C). Cada Sector  
188 contiene varios cuadros. El ensayo fue llevado a cabo en dos Sectores, y tres Cuadros  
189 distintos. Estos fueron, según la denominación propia de la empresa, el Sector 3 y Cuadro  
190 5 (S3C5), Sector 3 y Cuadro 6 (S3C6), y el Sector 2 y Cuadro 5 (S2C5). Los dos primeros  
191 se encuentran separados entre sí por un camino, mientras que el último, correspondiente  
192 al Sector 2, se sitúa a 200 m; las situaciones de relieve son similares.

193 El diseño del ensayo es de Bloques Completos al Azar, correspondiendo cada Bloque a  
194 un Cuadro diferente y disponible para el ensayo (Steel & Torrie, 1985). Dentro de cada  
195 bloque se encuentran representados todos los marcos de plantación ensayados (**Figura**  
196 **1**).

197 A cada ejemplar se le midió el perímetro a 1,3 m del suelo con cinta métrica milimetrada, y  
198 la altura total con hipsómetro Blume-leiss.

199 Se calcularon:

200 - Diámetro a 1,3 m (**DAP**) por ejemplar.

201 - En el caso de individuos con bifurcaciones por debajo del 1,3 m, el **DAP** del individuo se  
202 tomó como el promedio de los diámetros, y la altura se calculó como la altura media de  
203 Lorey.

204 - **DAP** medio y Coeficiente de Variación por marco de plantación.

205 - Altura media del cuartil superior (**AM del cuartil superior**) por marco de plantación por  
206 parcela. Esta altura media se utilizó como indicadora de la altura media dominante  
207 (Marlats et al., 1998).

208 - Área de Incidencia Efectiva: relación entre la superficie de las parcelas y el número de  
209 ejemplares contenido (una vez descontadas las fallas).

210

211 *Análisis estadístico.*

212 La estabilidad fenotípica fue analizada utilizando:

213 • Análisis de la varianza y Test de Tukey (según bloques, marcos de plantación, e  
214 interacción entre ambos) para un 99% de probabilidad.

215 • Variable Independiente: Marco de Plantación (**MP**).

216 • Variables dependientes (estudiadas por separado): **DAP**, Altura media (**AM**) y  
217 Altura media del cuartil superior (**AM del cuartil superior**).

218 • Ajuste de 4 rectas por cada variable estudiada (**DAP**, **AM** y **AM del cuartil**  
219 **superior**), por método de mínimos cuadrados. Cada recta se generó por los pares  
220 ordenados: área de incidencia efectiva – valor de la variable en estudio para cada  
221 ejemplar. Las rectas correspondieron a los valores de las variables para  
222 tratamientos de áreas de incidencia consecutivas:

223 1 - Valores para marcos de plantación 2,5 m x 2,5 m y 3,5 m x 2,0 m

224 2 - Valores para marcos de plantación 3,5 m x 2,0 m y 3,5 m x 2,5 m

225 3 - Valores para marcos de plantación 3,5 m x 2,5 m y 3,5 m x 2,8 m

226 4 - Valores para marcos de plantación 3,5 m x 2,8 m y 3,5 m x 3,5 m

227 Esta modalidad de regresión segmentada es citada por Cubero & Flores (1995), y  
228 utilizada por Verma et al. (1978) y Cruz et al. (1989), y se utiliza para representar la  
229 intensidad de la variación entre **MP** consecutivos.

230 • Análisis para cada recta de los valores de pendientes por el estadístico T y su  
231 probabilidad (Steel & Torrie, 1985).

232 Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software InfoStat (Di Rienzo, 2012).

233

## 234 RESULTADOS

235

### 236 Descripción de datos

237 En el ensayo se contaron siete fallas, distribuidas en los diferentes marcos de plantación.  
238 Esto indicó la conveniencia de corregir los valores de las áreas teóricas de incidencia  
239 (superficie de parcela / número original de plantas), para transformarlas en áreas de  
240 incidencia efectivas (superficie de parcela / número de plantas sobrevivientes). Esta  
241 metodología, usada por Palazzini (2015), genera la información presentada en la **Tabla 1**.

242 *Tabla 1: Aquí*

243

### 244 Análisis de la varianza por variable.

245

#### 246 *Diámetro a la altura del pecho (DAP).*

247 El marco de plantación tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la variable  
248 **DAP**, (**Tabla 2**). Los **Cuadros** y la interacción **Cuadro x Marco de Plantación (MP)** no  
249 evidenciaron influencia sobre la misma (**Tabla 2**).

250 *Tabla 2: Aquí.*

251 La comparación de medias (**Tabla 2**) determina la conformación de cuatro grupos. El de  
252 menor **DAP** corresponde al **MP** de 2,5 m x 2,5 m, con un valor de 16,4 cm; le sigue un  
253 grupo conformado por los **MP** de 3,5 m x 2,0 m y 3,5 m x 2,5 m, con medias de 18,6 cm y  
254 19,6 cm respectivamente; el **MP** de 3,5 m x 2,8 m constituye el tercer grupo con un **DAP**  
255 medio de 21,9 cm, y finalmente aquel **MP** que más favoreció el desarrollo de **DAP** fue el  
256 de 3,5 m x 3,5 m, con un valor de 24 cm (**Tabla 2**). El **DAP** medio correspondiente a un  
257 **MP** con mayor densidad de plantas en ningún caso superó a los **MP** de menor densidad.  
258 Mayores valores de **DAP** medio se correspondieron siempre con una mayor área de  
259 incidencia por ejemplar.

260 *Altura media (AM).*

261 Sobre la variable **AM**, tanto el **MP** como los **Cuadros** tuvieron un efecto estadísticamente  
262 significativo en el crecimiento. La interacción **Cuadro x MP** no mostró influir sobre esta  
263 variable (**Tabla 2**).

264 Al comparar las **AM** para cada **MP** pueden distinguirse cuatro grupos, tres de los cuales  
265 se superponen entre sí (**Tabla 2**). La menor **AM** se obtuvo con un distanciamiento de 2,5  
266 m x 2,5 m, con un valor de 19,31 m. Le sigue un grupo conformado por los **MP** de 3,5 m x  
267 2,0 m y 3,5 m x 2,5 m, cuyas **AM** fueron de 20,60 m y 20,36 m respectivamente. En el  
268 tercer grupo se encuentra el **MP** de 3,5 m x 2,8 m, cuya **AM** fue de 21,39 m. Finalmente,  
269 la mayor **AM** se encuentra en el **MP** de 3,5 m x 3,5 m, con un valor de 21,95 m.

270 El test de Tukey aplicado a los valores correspondientes a los **Cuadros** ( $p < 0,01$ ),  
271 muestra que sólo uno (Cuadro S2C5) posee diferencias significativas respecto de los  
272 otros dos (S3C6; S3C5, **Tabla 3**). Al realizar el ANOVA sin considerar a S2C5, se  
273 encuentra que el **Cuadro** deja de tener un impacto significativo sobre la conformación de  
274 la variable **AM** (**Tabla 4**). La única diferencia que se encuentra en el test de Tukey para la  
275 variable **MP**, al no considerar el **Cuadro** S2C5 en el ANOVA, es que no hay diferencias  
276 significativas entre los **MP** 2,5 m x 2,5 m y 3,5 m x 2,5m (**Tabla 4**), mientras que, si se lo  
277 considera, sí las hay (**Tabla 2**).

278 *Tabla 3: Aquí.*

279 *Tabla 4: Aquí.*

280

281 *Altura media del cuartil superior (AM del cuartil superior).*

282 En el caso de la **AM del cuartil superior**, tanto el **MP** como los **Cuadros** y la interacción  
283 **Cuadro x MP** incidieron de forma significativa (**Tabla 2**). Al igual que para la variable **AM**,  
284 existe un **Cuadro** que presenta diferencias respecto de los demás (S2C5, **Tabla 3**). Al

285 realizar el ANOVA para la **AM del cuartil superior** sin considerar dicho **Cuadro**, éste deja  
286 de incidir significativamente en la conformación de la variable (**Tabla 4**).

287 La inclusión en el ANOVA de S2C5 no cambia los resultados del test de Tukey para la  
288 variable **MP** (**Tabla 4**).

289 Al comparar las medias de la **AM del cuartil superior** para los distintos **MP**, se observa  
290 que las mismas conforman cuatro grupos homogéneos significativamente diferentes entre  
291 sí (**Tabla 2**). El primer grupo corresponde al **MP** de 2,5 m x 2,5 m, con un valor de **AM del**  
292 **cuartil superior** de 20,72 m; le sigue el **MP** de 3,5 m x 2,5 m, con un valor de 21,68 m.  
293 En tercer lugar se encuentra un grupo homogéneo formado por los **MP** de 3,5 m x 2,0 m y  
294 3,5 m x 2,8, con valores de 22,32 m y 22,54 m respectivamente. Finalmente, la mayor **AM**  
295 **del cuartil superior** se encuentra para el **MP** de 3,5 m x 3,5 m, con un valor de 22,93 m.  
296 Para esta variable, no siempre mayores áreas de incidencia se correlacionaron con  
297 mayores alturas; se observa que para el **MP** de 3,5 m x 2,5 m se obtiene un valor de  
298 21,68 m, significativamente menor a los 22,32 m obtenidos en el **MP** de 3,5 m x 2,0.

299 De las tres variables estudiadas, el **DAP** es la que muestra los mayores Coeficientes de  
300 Variación, y la **AM del cuartil superior** los Coeficientes de Variación con menor valor  
301 (**Tabla 2**).

302

### 303 **Análisis de rectas ajustadas por variable.**

304

#### 305 *Diámetro a la altura del pecho (DAP).*

306 Solamente las rectas generadas a partir de los datos de **DAP** para los **MP** 2,5 m x 2,5m -  
307 3,5 m x 2,0 m; 3,5 m x 2,5 m - 3,5 m x 2,8 m; 3,5 m x 2,8 m - 3,5 m x 3,5 m, poseen  
308 pendientes estadísticamente significativas, con un 99% de probabilidad. Entre ellas, los  
309 mayores valores en la pendiente se obtuvieron para los pares de **MP** con menor área de  
310 incidencia (**Tabla 5 y Figura 2**).

311 *Tabla 5: Aquí.*

312 *Figura 2: Aquí.*

313

314 *Altura media (AM).*

315 De aquellas rectas generadas a partir de los datos de **AM**, solamente dos poseen  
316 pendientes estadísticamente significativa, correspondientes a los **MP** de 2,5 m x 2,5 m -  
317 3,5 m x 2,0 m y 3,5 m x 2,5 m - 3,5 m x 2,8 m (**Tabla 6 y Figura 3**).

318 *Tabla 6: Aquí.*

319 *Figura 3: Aquí.*

320

321 *Altura media del cuartil superior (AM del cuartil superior).*

322 De las rectas generadas a partir de los datos de **AM del cuartil superior**, tres  
323 presentaron pendientes estadísticamente significativas con un de 99% de probabilidad,  
324 correspondientes a los **MP** de 2,5 m x 2,5m - 3,5 m x 2,0 m; 3,5 m x 2,0 m - 3,5 m x 2,5 m  
325 (el cual presentó una pendiente negativa) y 3,5 m x 2,5 m - 3,5 m x 2,8m (**Tabla 7 y**  
326 **Figura 4**).

327 *Tabla 7: Aquí.*

328 *Figura 4: Aquí.*

329

## 330 **DISCUSIÓN**

331 La expansión del cultivo de *Populus* spp. en la porción continental de la provincia de  
332 Buenos Aires requiere la evaluación del material genético en uso y de nuevos genotipos  
333 para cada región edafoclimática (Baridón et al., 2008). Trabajos que estudien la  
334 estabilidad fenotípica, sanidad, comportamiento fenológico, propiedades tecnológicas de  
335 la madera, períodos de crecimiento, en relación a los diferentes clones, prácticas y

336 regiones edafoclimáticas conforman la base sobre la cual podrá desarrollarse el sector  
337 (Achinelli, 2006).

338 Achinelli (2006) menciona que las actuales 5000 ha de cultivo de álamo en la Pampa  
339 húmeda podrían extenderse a 4 millones de hectáreas, debido a las características de  
340 suelo y clima de la región. Baridón et al. (2008) afirman que esta situación sería  
341 perfectamente posible, considerando que los suelos Argiudoles típicos y Hapludoles  
342 típicos, predominantes en dichas áreas productivas, abarcan aproximadamente 12  
343 millones de ha en la Pampa húmeda.

344 Las condiciones ambientales del sitio bajo estudio (suelos Hapludoles típicos y régimen  
345 climático Cfa) coinciden en forma general con aquellas correspondientes a las localidades  
346 de Morse, Vedia, Palantelén y Teodelina, ubicadas en el centro-norte de la Provincia de  
347 Buenos Aires y sur de Santa Fe. Éstas representan los principales centros de desarrollo  
348 de silvicultura de álamo en la Pampa húmeda (Achinelli, 2006). Debido a estas similitudes,  
349 es posible decir que los resultados aquí presentados son extensibles tanto a las actuales  
350 áreas bajo cultivo, como a las potenciales.

351 Los marcos de plantación (**MP**) considerados en este estudio, abarcan un rango que  
352 incluye un **MP** de uso habitual, uno por encima y otro por debajo (en área de incidencia)  
353 fácilmente aplicables por el productor. Esto determina que los intervalos entre áreas de  
354 incidencia consecutivas no sean iguales, pudiendo proponerse para próximos estudios  
355 atender a esta cuestión. Como se vio en resultados, la estabilidad varía a medida que  
356 aumenta el Área de incidencia, y la magnitud de dicha variación depende de la magnitud  
357 de la diferencia entre áreas de incidencias consecutivas. Si se desea estudiar la  
358 estabilidad de manera más precisa, es necesario plantear ensayos donde dichas  
359 diferencias entre áreas sean lo menores posibles, atendiendo simultáneamente la  
360 dimensión del ensayo y su potencialidad de entrega de información.

361 Considerando que a los 10 años la plantación aún se encuentra en crecimiento activo  
362 (Marquina, 2012), es lógico esperar que a edades más avanzadas el comportamiento  
363 general se exprese de forma más clara. Podría pasar que a los 12 o 15 años los valores  
364 de altura se diferencien de forma más marcada o que, por lo contrario, tiendan a  
365 converger a un mismo valor. De esta forma, los resultados obtenidos sobre la estabilidad  
366 del fenotipo en las variables Altura media (**AM**) y **AM del cuartil superior**, podrían  
367 cambiar de forma radical dependiendo de la edad en la que fueran evaluadas, lo que dicta  
368 la necesidad de evaluar el ensayo a edades avanzadas, atendiendo a las edades de corta  
369 y destinos de la producción.

370 Sin embargo, la utilidad de prolongar el ensayo hasta los 10 años radica en que es una  
371 edad frecuentemente utilizada en la región, en la producción de madera con destino  
372 pulpable, además de ser una edad utilizada como base al elaborar índices de sitio  
373 (Achinelli, 2006).

374 La ventaja de utilizar áreas de incidencia efectiva se sostiene en el hecho de que la  
375 muerte de ejemplares se produce normalmente durante la etapa de establecimiento de la  
376 plantación, antes de los 3 años de edad (Achinelli et al., 2003), con lo cual no hubo  
377 oportunidad de competencia intensa hasta ese momento.

378 Los valores del diámetro a la altura del pecho (**DAP**) obtenidos en el ensayo (**Tabla 2**),  
379 son similares a los reportados por otros autores para distintos clones del género  
380 implantados en la región, a los 10 años y creciendo en distanciamientos similares.  
381 Monteoliva & Senisterra (2008) obtuvieron valores de **DAP** de 22,57 cm en un suelo  
382 Argiudol típico del partido de Alberti, trabajando con *Populus x canadensis* 'Conti 12' a los  
383 10 años de edad, y en un marco de plantación de 2,8 m x 3,5 m. Los valores de **DAP**  
384 reportados por Palazzini (2015), para el mismo distanciamiento y sitio de estudio, pero  
385 evaluando *Populus deltoides* 'Delta Gold' (Stoneville 66), fueron de 21,1 cm.

386 Para la variable **AM** (**Tabla 2**), los valores obtenidos también están dentro de los rangos  
387 presentados por otros autores. Achinelli (2006) informa para la región valores máximos de  
388 altura entre 16,6 m y 29,4 m, para suelos Hapludol típico, Hapludol éntico y Argiudol  
389 típico. El valor de altura obtenido por Monteoliva & Senisterra (2008) fue de 21,5 m, y el  
390 reportado por Palazzini (2015) fue de 24,24 m. Ambos estudios fueron realizados en el  
391 partido de Alberti, sobre suelos Argiudol Típico y Hapludol Típico respectivamente. Los  
392 valores de altura aquí mencionados corresponden a distanciamientos de 2,8 m x 3,5 m.  
393 Para la variable **AM del cuartil superior**, Marlats et al. (1998) obtuvieron valores del  
394 orden de los 22 m, al trabajar espaciamientos de 2,5 m x 3,5 m, en los clones 'Cattfish 2' y  
395 'Stoneville 72' de *Populus deltoides* en Alberti, provincia de Buenos Aires.

396 El **DAP** presenta mayor dispersión en sus valores respecto de la **AM**, lo que conduce a  
397 obtener valores de **CV** en el **DAP** de hasta el doble de los obtenidos para la **AM**. Esto es  
398 reportado por Monteoliva & Senisterra (2008) y Palazzini (2015), quienes obtuvieron  
399 relaciones similares. Valores menores a 20 % en el **CV** del **DAP** en plantaciones sin  
400 manejo indicarían que se trata de rodales de buena homogeneidad (Chacón Lizano,  
401 2000).

402 Los valores obtenidos para las variables estudiadas están en concordancia con los  
403 valores presentados por otros autores, como fue indicado en párrafos previos. Por lo  
404 tanto, los valores de **DAP**, **AM** y **AM del cuartil superior** pueden ser tomados como  
405 valores de referencia en la región, para los **MP** estudiados y a edades de 10 años.

406

#### 407 *Estabilidad - DAP*

408 Los resultados obtenidos muestran la influencia del **MP** sobre la variable **DAP**, donde se  
409 observa que cuando los individuos crecen en mayores áreas de incidencia generan  
410 mayores diámetros. Esto puede deberse por un lado a una mayor disponibilidad de

411 recursos subterráneos (agua y nutrientes), y al mismo tiempo una menor competencia por  
412 el recurso lumínico o entre las copas (Davis & Jhonson, 1987).

413 El mismo comportamiento fue evaluado y reportado por diversos autores en ensayos  
414 previos. Marlats et al. (1998) evaluaron los clones 'Catfish 2' y 'Stoneville 72' de *Populus*  
415 *deltoides*, a los 3, 5, 7 y 10 años de edad, implantados en Alberti, Buenos Aires. En el  
416 ensayo se abarcaron distintos distanciamientos, correspondientes a áreas de incidencia  
417 de 2,25 m<sup>2</sup> a 12,25 m<sup>2</sup> por árbol, y se determinó su efecto en relación a las variables Área  
418 basal individual (relacionada directamente con el diámetro), Altura máxima, Altura media y  
419 Estructura vertical. Se observó que los mayores distanciamientos producen mayores  
420 valores de Área basal individual, y que estas diferencias comienzan a evidenciarse al año  
421 5, y se acentúa a los años 7 y 10.

422 Palazzini (2015) obtuvo resultados similares para la variable **DAP** en relación al Área de  
423 incidencia, al trabajar con *Populus deltoides* Delta Gold 'Stonville 66' en el mismo sitio de  
424 estudio, a los 10 años, con áreas de incidencia efectivas entre los 6,49 m<sup>2</sup> y 12,72 m<sup>2</sup>.

425 En el trabajo de Marquina et al. (2012) se estudia la evolución en Área basal en rodales  
426 de *Populus x canadensis* 'Conti 12' creciendo en marcos de plantación que se  
427 corresponden con Áreas de incidencia de 6,25 m<sup>2</sup> a 12,25 m<sup>2</sup>. El Área basal fue siempre  
428 mayor en los rodales con mayor espacio a su disposición, y las diferencias se acentúan a  
429 medida que los árboles crecen. Los autores señalan la edad de 3 años como el momento  
430 a partir del cual las diferencias se hacen evidentes; del mismo modo, Dalla Tea (1995)  
431 trabajando sobre *Eucalyptus grandis* en la provincia de Entre Ríos encontró que la  
432 variable **DAP** se veía favorecida por situaciones de competencia menores. La respuesta  
433 de la variable fue analizada en tres ambientes de la provincia, a los 2, 3, 4,5, 7 y 10 años  
434 de edad, y respecto a situaciones diversas de competencia, que abarcaron áreas  
435 disponibles por árbol de 2,5 m<sup>2</sup> a 15 m<sup>2</sup>. Nuevamente, las diferencias se acentuaron a  
436 edades mayores.

437 La intensidad de la variación en **DAP** entre dos áreas de incidencia consecutivas se ve  
438 reflejada en las pendientes de las rectas cuyo ajuste por mínimos cuadrados resultó  
439 significativo. En ellas se observa que la estabilidad se ve más alterada cuando menores  
440 son las áreas de incidencia (**Tabla 5**). En otras palabras, cuanto mayor es el grado de  
441 competencia entre los individuos, mayor es la respuesta al tratamiento y menor la  
442 oportunidad de estabilidad. Esta relación tan estrecha entre grado de competencia y  
443 estabilidad indica la posibilidad de evaluar la estabilidad en diámetro respecto al grado de  
444 ocupación del sitio mediante, por ejemplo, la densidad de área basal (Marquina et al.,  
445 2012). Esto permitiría comparar diferentes **MP**, a edades diferentes, pero con los mismos  
446 niveles de ocupación de sitio. La desventaja de utilizar al área basal como indicador del  
447 grado de ocupación es que resulta una variable muy sensible a la muerte de individuos, y  
448 que está muy influenciada por el número de árboles del rodal (Dalla Tea, 1995).  
449 Del estudio de las pendientes de las rectas representadas en la **Figura 2** se desprende  
450 que el fenotipo del clon evaluado es inestable con respuesta positiva para la variable **DAP**  
451 a los 10 años de edad, frente a distintas condiciones de competencia.

452

#### 453 *Estabilidad - AM*

454 Al igual que para la variable **DAP**, la tendencia general de la variable **AM** es de aumentar  
455 a medida que aumenta el marco de plantación. Al emplear el **MP** de 3,0 m x 2,5 m se  
456 observa un desvío respecto de esta tendencia, pues el valor de altura obtenido es menor  
457 al valor obtenido para el distanciamiento inmediatamente anterior (3,0 m x 2,0 m), aunque  
458 estas diferencias no alcanzan a ser significativas al ser evaluadas mediante el test de  
459 Tukey (**Tabla 2**). Es necesario recordar que se trata de valores promedio, resultantes de  
460 mediciones con Blumme-Leiss (sin trípode), por lo que la precisión del número está muy  
461 ligada a cálculos matemáticos.

462 Los resultados son acordes a los presentados por Marlats et al. (1998), quienes  
463 estudiaron la interacción clon-espaciamento en *Populus deltoides* 'Catfish 2' y 'Stoneville  
464 72' evaluando la altura media, junto con otras variables, a los 5, 7 y 10 años de edad.  
465 Dichos autores encontraron que para ambos clones, en las tres edades evaluadas, hubo  
466 una correlación positiva entre el distanciamiento y la variable altura. De este modo,  
467 mayores áreas de incidencia se relacionaron con mayores alturas medias. A su vez,  
468 destacan una disminución en el crecimiento en altura entre los años 7 y 10, para ambos  
469 clones, en las menores áreas de incidencia. Palazzini (2015), trabajando con trabajando  
470 con *Populus deltoides* Delta Gold 'Stonville 66' a los 10 años, con áreas de incidencia  
471 entre los 6,49 m<sup>2</sup> y 12,72 m<sup>2</sup>, comparte las mismas conclusiones. Agrega que, en su  
472 estudio, la condición de estabilidad para la **AM** coincide con lo reportado para el **DAP**.  
473 Ambas variables se comportan de modo similar.

474 El cuadro S2C5 presentó diferencias significativas respecto de los cuadros S3C5 y S3C6  
475 (**Tabla 3**). Esto podría indicar condiciones de micro sitio en el cuadro S2C5 que influyen  
476 de forma más marcada sobre la altura que sobre el diámetro, ya que, como se dijo, el  
477 **Cuadro** no presenta un efecto significativo sobre el **DAP**. Esta posibilidad existe ya que  
478 este cuadro se encuentra en un sector distinto del Establecimiento, mientras que los otros  
479 dos se encuentran ubicados uno frente al otro.

480 Diferencias en el contenido de Nitrógeno total, de arena y de materia orgánica (Acciaresi  
481 & Marlats, 1998), o restricciones en las condiciones de drenaje y disponibilidad de agua  
482 durante el ciclo de crecimiento (Marlats et al., 2002; Baridón et al., 2004; Marquina &  
483 Marlats, 2005) podrían ser las causas de dichas diferencias. Un estudio de suelo ayudaría  
484 a definir las de forma más precisa.

485 Si bien **AM** mostró un comportamiento menos claro a los distintos niveles de competencia,  
486 llegando a ser opuestos a los obtenidos para el **DAP**, esta última variable es el indicador  
487 de tamaño por excelencia. Existen y son de uso habitual, funciones de volumen para el

488 género en provincia de Buenos Aires que la utilizan como única variable estimadora, o  
489 acompañada por alguna altura. Algunos ejemplos son las funciones presentadas por  
490 Fernández Tschieder et al. (2011); Suarez & García Volonte (1993) y Marquina et al.  
491 (1997).

492

#### 493 *Estabilidad - AM del cuartil superior*

494 Marlats et al. (1998) indican que diferencias marcadas entre la **AM** y la **AM del cuartil**  
495 **superior** conducirían a una diferenciación en la estructura vertical del rodal, lo que  
496 determinaría la existencia de individuos dominantes y oprimidos. Esta variación en la  
497 estructura sería tanto más marcada cuanto mayor fuera la intensidad de la competencia  
498 entre los individuos, es decir, cuanto menor fuera el distanciamiento entre ellos.  
499 Atendiendo a los resultados de **AM (Tabla 2)**, se observa que el **CV** disminuye al  
500 aumentar el área de incidencia, mientras que se mantiene relativamente constante para la  
501 **AM del cuartil superior**. Esto indica una mayor dispersión de los valores de altura en las  
502 áreas de incidencia menores, lo que se traduce en una tendencia a la estratificación.

503 Cabe destacar que la importancia de conocer el valor de **AM del cuartil superior** radica  
504 en que puede ser utilizada como un indicador de la calidad del sitio, o en la elaboración de  
505 índices de sitio, específicos para un clon en particular (Thrower & Goudie, 1992; Ferrer &  
506 Signorelli, 2018).

507 Esta variable presenta un comportamiento similar a la variable **AM**, donde un mayor  
508 distanciamiento entre plantas produce un valor de altura mayor que el que produce un  
509 menor distanciamiento. Marlats et al. (1998) presentan el mismo resultado, aunque  
510 menciona que el incremento en la **AM del cuartil superior** al utilizar un mayor  
511 distanciamiento es levemente menor que en la **AM**.

512

513

514 *Observaciones complementarias*

515 En un contexto mundial en el cual la disminución de la emisiones de gases de efecto  
516 invernadero y la fijación de carbono en bosques de producción cobran relevancia (van  
517 Kooten & Johnston, 2016), la evaluación de clones de álamo cuyo destino pueda ser la  
518 madera como material de construcción o de plantaciones con fines bioenergéticos, debe  
519 ser considerada (Gil Hernández et al., 2012). El agotamiento de los combustibles fósiles y  
520 los impactos que su uso tienen sobre el ambiente y el clima, indican la necesidad de  
521 encontrar alternativas más ecológicas a la demanda energética. Es posible producir etanol  
522 a partir de materia prima forestal con base celulósica (Patrouilleau et al., 2006), e incluso  
523 se desarrollan y evalúan plantaciones de álamo con este objetivo productivo (Gil  
524 Hernández et al., 2012). En Argentina, en el año 2006, se estimaba que, con los fines de  
525 complementar la demanda anual de nafta con etanol, se podían llegar a utilizar 1,33  
526 millones de toneladas anuales de madera, las cuales podrían provenir tanto de residuos  
527 de la industria maderera como de plantaciones destinadas para tal fin (Patrouilleau et al.,  
528 2006).

529 Es sabido que los cambios sociales y económicos ocurren con mayor rapidez de lo que  
530 tarda en llevarse a cabo un programa de mejoramiento genético forestal, y que en la  
531 medida que dichos programas puedan anticiparse a las demandas futuras, se alcanzará  
532 un mejor uso del recurso forestal (Zobel, 1998). La mayoría de los clones de álamo  
533 plantados en la porción continental fueron originalmente seleccionados para la región del  
534 delta del Río Paraná, y su selección fue basada en criterios empíricos o en algunos pocos  
535 ensayos (Baridón et al., 2008). Por lo tanto, resulta necesario evaluar clones con distintos  
536 fines productivos, incluso para mercados que aún no están totalmente desarrollados en el  
537 país, con el fin de adelantarse a la demanda y contar con el material y conocimiento  
538 suficiente para cuando ésta se haga presente.

539 Los valores crecientes de **DAP** en las consecutivas áreas de incidencia se relacionan  
540 directamente con el nivel de ocupación de sitio y con el área basal media individual del  
541 rodal (Marlats et al., 1998). En cambio, el crecimiento en altura puede tener  
542 comportamientos no tan claros, al estar modulado por factores distintos a los del **DAP**  
543 (Daniel et al., 1982). Los valores de **AM** y **AM del cuartil superior** obtenidos en las  
544 menores áreas de incidencia dan cuenta de esta diferencia.

545 El estudio de las pendientes de las rectas ajustadas por variable para áreas de incidencia  
546 consecutivas muestra que el fenotipo es más estable cuando mayores son los valores de  
547 área. En definitiva, estudiar la estabilidad fenotípica respecto de las áreas de incidencia es  
548 estudiar qué tan sensible es el fenotipo a la intensidad de competencia entre ejemplares  
549 contiguos, expresada por los valores de área de incidencia individual. Por lo tanto, la  
550 percepción del fenotipo como estable va a depender del grado de ocupación del sitio, el  
551 cual está directamente relacionado con el tamaño de los individuos, el área de incidencia  
552 y la edad.

553 Si bien no fue el objetivo de este trabajo, y por lo tanto no se cuenta con los medios para  
554 afirmarlo de forma rigurosa, se observó una tendencia a presentar mayor porcentaje de  
555 individuos con bifurcaciones y trifurcaciones en los **MP** de mayores distanciamientos. Esto  
556 puede ser un aspecto a evaluar en futuros ensayos, o puede servir como antecedente a  
557 productores si se piensa en destinos de la madera donde un eje dividido sea considerado  
558 una imperfección.

559

## 560 **CONCLUSIONES**

561 *Populus x canadensis* 'Conti 12' no presentó un comportamiento estable general para los  
562 parámetros **diámetro a la altura del pecho, altura media y altura media del cuartil**  
563 **superior**, al ser evaluados a los 10 años de edad en áreas de incidencia que van de los  
564 6,48 m<sup>2</sup> a los 12, 72 m<sup>2</sup>.

565 La percepción de estabilidad estuvo ligada al nivel de competencia, determinado por los  
566 respectivos **Marcos de Plantación**. Ésta depende de la edad de la plantación, en tanto se  
567 relaciona con el tamaño de los individuos.

568 Los análisis de estabilidad realizados permiten identificar los valores de área en los que la  
569 variable en estudio resultó más inestable. Para las tres variables, el clon resultó inestable  
570 al pasar de áreas de incidencia efectiva de 6,43 m<sup>2</sup> a 7,2 m<sup>2</sup> y de 8,75 m<sup>2</sup> a 9,98 m<sup>2</sup>. De  
571 igual modo, para las tres variables, la estabilidad aumenta al aumentar el área de  
572 incidencia. El **Marco de Plantación** se presentó como un factor determinante en la  
573 constitución de los valores alcanzados por las tres variables.

574

## 575 **BIBLIOGRAFÍA**

576 **Acciaresi G. & R. Marlats.** 1988. Modelo funcional de micrositio basado en índices  
577 edáficos para masas coetáneas de *Populus x deltoides* cv. Harvard. VI Congreso Forestal  
578 Argentino. Actas T.II: 385-388.

579 **Achinelli F., E. Baridón, E. Prada, M. Francisco, A. Aparicio & R. Marlats.** 2003.  
580 Fertilización de arranque en plantaciones de álamos (*Populus* spp) de la Pampa húmeda  
581 argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 20. 1-10.

582 **Achinelli, F.** 2006. Silvicultura de álamos y sauces en la Pampa húmeda. Actas de las  
583 Jornadas de Salicáceas 2006. Buenos Aires. Argentina. pp. 21–36.

584 **Area, M. & V.Popa.** 2014. Wood Fibres for Papermaking. Ed. Smithers Pira. Reino Unido.  
585 106 pp.

586 **Banco Mundial.** 2019. Rentas forestales (% del PBI). Disponible en:  
587 <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.DEFL.KD.ZG?end=2017&locations=AR>  
588 &start=1961 . Último acceso: Agosto 2019.

589 **Baridón E., A. Pellegrini, V. Catan & F. Achinelli.** 2004. Efectos del agua edáfica sobre  
590 los primeros años de implantación en clones de *Populus* spp.: tres situaciones de

591 microrrelieve en Hapludoles típicos. X Reunión Argentina y LV Latinoamericana de  
592 Agrometeorología. Mar del Plata, Argentina.

593 **Baridón, E., M. Palenzona, R. Marlats, G. Senisterra & G. Millán.** 2008. *Populus* spp.,  
594 respuestas clonales de crecimiento en suelos Argiudoles y Hapludoles, de la Provincia de  
595 Buenos Aires, Argentina. *Ciencia e investigación Agraria* 35 (3): 287–292.

596 **Chacón Lizano, M.** 2000. Evaluacion de plantaciones de teca y melina en la región  
597 Huetar Norte de Costa Rica para ser utilizadas como rodales semilleros. *Memorias /*  
598 *Simposio sobre Avances en la Produccion de Semillas Forestales en America Latina*, 2.  
599 Turrialba, CR: CATIE: 61-65.

600 **Comisión Nacional del Álamo de Argentina.** 2016. Informe Nacional. Disponible en:  
601 <http://www.fao.org/forestry/44873-0cd45dc63932142ff4399bf190c9e830.pdf>  
602 Último acceso: Julio 2020.

603 **Cortizo, S.** 2011. Mejoramiento genético del álamo, una ciencia en apoyo a la producción  
604 forestal sostenible. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. 18 pp.

605 **Cruz, C., R. Torres & R. Vencovsky.** 1989. An alternative approach to the stability  
606 analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética* 12 (3): 567- 580.

607 **Cubero, J. I. & F. Flores.** 1995. Métodos Estadísticos para el Estudio de la Estabilidad  
608 Varietal en Ensayos Agrícolas. Ed. Junta de Andalucía. España. 125 pp.

609 **Dalla Tea, F.** 1995. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de  
610 *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos, Argentina. *Forest Systems*. 4 (1): 57-71.

611 **Daniel, T., J. Helms & F. Backer.** 1982. Principios de Silvicultura. Ed. McGraw-Hill.  
612 México. 492 pp.

613 **Davis L. & N. Johnson.** 1987. *Forest Managment*. Mc Graw-Hill, New York. 790 pp.

614 **Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W.**  
615 **Robledo.** InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba,  
616 Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar> .Último acceso: Marzo 2020.

617 **FAO.** 2016. Anuario de productos Forestales 2014. Colección FAO Montes N° 49,  
618 Estadística N° 205. 350 pp.

619 **Fernández Tschieder, E., H. Fassola & M. García Cortés.** 2011. Ecuación de volumen  
620 total para *Populus deltoides* de plantaciones del Bajo Delta del Paraná. Revista de  
621 Investigaciones Agropecuarias 37 (2): 172-179.

622 **Ferrer, P. & A. Signorelli.** 2018. Ecuaciones para la estimación de volumen en  
623 plantaciones de álamo en Junín, Buenos Aires. Revista de tecnología Agropecuaria 10:  
624 67-70.

625 **Gil Hernández P., F. Camps Saguer, I. Cañellas Rey de Viñas, P. Cira Cira, M.**  
626 **Sánchez-González, M. Sánchez Martín, H. Sixto Blanco & J. Voltas Velasco.** 2012.  
627 Análisis de estabilidad en genotipos híbridos de *Populus* L. para producción de biomasa.  
628 Cuadernos de la sociedad Española de Ciencias Forestales 34: 105-110.

629 **Hortensia, S., M. Hernández, M. Ciria, J. Carrasco & I. Cañellas.** 2010. Manual de  
630 cultivo de *Populus* spp para la producción de biomasa con fines energéticos. Instituto  
631 Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Ciencia e  
632 Innovación. Madrid. Monografías INIA Serie Forestal N° 21. 61 pp.

633 **Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf & F. Rubel.** 2006. World map of the Köppen-  
634 Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift 15 (3): 259–263.

635 **Marlats, R., G. Senisterra, J. Lanfranco, J. Marquina & M. Vázquez.** 2004. *Populus*  
636 spp: estabilidad y ganancia genética sobre la altura media dominante en tres ambientes  
637 de la Pampa ondulada, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.  
638 Universidad Nacional de Cuyo 36 (1): 9–16.

639 **Marlats, R., M. Vazquez, G. Senisterra, J. Lanfranco & J. Marquina.** 2002. *Populus*  
640 spp.: incidencia de factores edáficos de sitio sobre el crecimiento en altura. XVIII congreso  
641 argentino de Ciencias del Suelo. Puerto Madryn, Chubut, Argentina: 58-59.

642 **Marlats, R., R. Bratovich, J. Marquina & J. Arce.** 1998. Interacción clon-espaciamento

643 en *Populus deltoides*. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La  
644 Plata 103 (1): 17–26.

645 **Marquina J. & R. Marlats**, 2005. *Populus x euroamericana* 'Conti 12' variación de la  
646 altura dominante por efecto del micrositio en hapludoles énticos de la Pampa ondulada  
647 (Buenos Aires, Argentina). 3º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes,  
648 Argentina, 8 pp.

649 **Marquina, J., J. Barotto & D. Palazzini**. 2012. *Populus x canadensis* 'Conti 12'.  
650 Ocupación del sitio a diferentes edades, para 5 marcos de plantación. Jornadas  
651 Forestales de Entre Ríos. Concordia. 7 pp.

652 **Marquina, J., R. Bratovich & R. Marlats**. 1997. Funciones de volumen útil con corteza  
653 para clones de *Populus deltoides* Marsh de plantaciones en la zona continental de la  
654 provincia de Buenos Aires. Revista de Investigaciones Agropecuarias, Instituto Nacional  
655 de Tecnología Agropecuaria (2): 65-72.

656 **Monteoliva S. & G. Senisterra**. 2008. Efecto del sitio, el origen y el clon sobre el  
657 crecimiento y propiedades de la madera de *Populus*. Investigación Agraria: Sistemas y  
658 Recursos Forestales 17 (3): 261-270.

659 **Palazzini, D.** 2015. Estabilidad fenotípica de *Populus deltoides* 'Delta Gold' (Stoneville 66)  
660 en diferentes marcos de plantación. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales,  
661 Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. 34 pp.

662 **Patrouilleau R., C. Lacoste, P. Yapura & M. Casanovas**. 2006. Perspectivas de los  
663 biocombustibles en Argentina, con énfasis en el etanol de base celulósica. Informe final.  
664 Unidad de Coyuntura y Prospectiva. INTA. 53 pp.

665 **Ragonese, A., F. Rial Alberti, R. Ciocchini & A. García**. 1987. Fitotecnia de salicáceas  
666 en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Castelar (INTA). Academia  
667 Nacional de Agronomía y Veterinario N° 6. 30 pp.

668 **Reineke, L.** 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. Journal of

669 Agricultural Research. Washington D.C. 46 (7): 627–638.

670 **Senisterra G., M. Ducid, M. Murace & J. Marquina.** 2012. Susceptibilidad a *Septoria*  
671 *musiva* de híbridos inter e intra específicos de *Populus* spp. implantados en dos  
672 micrositios de la Pampa húmeda. Revista FCA UNCUYO 44 (1): 65-75.

673 **Senisterra, G., M. Ducid, F. Gaspari & M. Delgado.** 2011. Evaluación de clones de  
674 *Populus* spp., a los dos años de edad, en dos micrositios de la región pampeana. Revista  
675 de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo 43 (2): 133-144.

676 **Sevilla Martínez, F.** 2001. Marco y densidad de la repoblaciones forestales. III Congreso  
677 Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Disponible en  
678 [http://seforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/view/15649/1](http://seforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/15649/15492)  
679 5492 Último acceso: Marzo 2020.

680 **Steel, R. & J. Torrie.** 1985. Estadística. Principios y procedimientos. Ed. Latinoamericana  
681 S.A. Bogotá. 622pp.

682 **Suárez, E. & R. García Volonte.** 1993. Tabla de volumen para álamo del delta  
683 bonaerense. Primer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Paraná, Argentina:  
684 266-272.

685 **Thrower, J. & J. Goudie.** 1992. Development of Height-age and Site index Functions for  
686 Even-aged Interior Douglas-Fir in British Columbia. Research Note N° 109. B.C. Ministry  
687 of Forests. Forest Science Research Branch.

688 **United States Department of Agriculture.** 2006. Keys to soil Taxonomy. Décima edición.  
689 Ed. USDA. Washington, D.C. 341 pp.

690 **van Haeften, C. & C. Frisa.** 2017. Industrias forestales año 2016. Ministerio de  
691 Agroindustria. Disponible en  
692 [https://magyp.gob.ar/sitio/areas/ss\\_desarrollo\\_foresto\\_industrial/estadisticas/\\_archivos//00](https://magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/estadisticas/_archivos//0000000000_Industrias%20Forestales/160000_2016%20-%20Industrias%20forestales.pdf)  
693 [0000\\_Industrias%20Forestales/160000\\_2016%20-%20Industrias%20forestales.pdf](https://magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/estadisticas/_archivos//0000000000_Industrias%20Forestales/160000_2016%20-%20Industrias%20forestales.pdf) .  
694 Último acceso: Marzo 2020.

695 **van Kooten, G. C. & C. Johnston.** 2016. The Economics of Forest Carbon Offsets.  
696 Annual Review of Resource Economics 8: 227-246.

697 **Verma, M., G. Chahal & B. Murty.** 1978. Limitations of conventional regression analysis a  
698 proposed modification. Theoretical and Applied Genetics 53 (2): 89-91.

699 **Zobel, B.J. & J.T. Talbert.** 1988. Técnicas de mejoramiento genéticos de árboles  
700 Forestales. Ed. Limusa, México. 545 pp.

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721 **Tabla 1:** Relaciones entre marco de plantación, densidad de plantas y áreas de incidencia  
722 efectiva y teórica.

MP (m)	Densidad de plantas (plantas /hectárea)	Área de incidencia teórica (m <sup>2</sup> /individuo)	Área de incidencia efectiva (m <sup>2</sup> /individuo)
2,5 x 2,5	1600	6,25	6,43
3,5 x 2,0	1429	7,00	7,20
3,5 x 2,5	1143	8,75	8,75
3,5 x 2,8	1020	9,8	9,89
3,5 x 3,5	816	12,25	12,25

723 Referencias: MP: marco de plantación.

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740 **Tabla 2:** Resultados del ANOVA y test de Tukey por Marco de Plantación.

MP (m)	DAP		AM		AM del cuartil superior	
	Media (cm)	CV (%)	Media (m)	CV (%)	Media (m)	CV (%)
2,5 x 2,5	16,4 ± 0,4 a	19,82	19,31 ± 0,21 a	11,09	20,72 ± 0,13 a	4,65
3,5 x 2,0	18,6 ± 0,4 b	19,58	20,60 ± 0,24 bc	12,02	22,32 ± 0,09 c	3,02
3,5 x 2,5	19,6 ± 0,4 b	21,71	20,36 ± 0,20 b	10,13	21,68 ± 0,13 b	4,17
3,5 x 2,8	21,9 ± 0,4 c	16,21	21,39 ± 0,17 cd	8,44	22,54 ± 0,08 c	2,45
3,5 x 3,5	24,0 ± 0,4 d	15,03	21,95 ± 0,16 d	7,57	22,93 ± 0,14 d	4,35
MP F	68,63		29,32		108,87	
MP p	<0,0001*		<0,0001*		<0,0001*	
C F	3,14		29,75		96,92	
C p	0,0442		<0,0001*		<0,0001*	
Interacción						
MP x C p	0,697		0,0703		<0,0001*	

741 Referencias: \*: diferencias significativas para  $\alpha = 0,01$ ; Valor medio  $\pm$  error estándar; letras diferentes indican  
742 diferencias significativas según el test de Tukey; CV: coeficiente de variación; DAP: Diámetro a la altura del  
743 pecho; AM: Altura media; MP: marco de plantación; C: cuadros; p: valor de la probabilidad; F: valor de la  
744 prueba de F.

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754 **Tabla 3:** Resultados del ANOVA y test de Tukey por Cuadro.

Cuadro	AM		AM del Cuartil superior	
	Media (m)	CV (%)	Media (m)	CV (%)
S2C5	19,84 ± 0,14 a	11,18	21,33 ± 0,11 a	4,93
S3C6	20,97 ± 0,14 b	10,69	22,34 ± 0,11 b	4,34
S3C5	20,97 ± 0,15 b	9,09	22,46 ± 0,11 b	4,57

755 Referencias: Valor medio ± error estándar; letras diferentes indican diferencias significativas según el test de  
 756 Tukey ( $p < 0,01$ ); AM: Altura media; CV: coeficiente de variación; Cuadro: identificación del cuadro evaluado.

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774 **Tabla 4:** Resultados del ANOVA y test de Tukey por Marco de Plantación, sin considerar  
 775 el cuadro S2C5.

MP	AM	AM cuartil superior
(m)	Media (m)	CV (%)
2,5 x 2,5	19,93 ± 0,22 a	9,5
3,5 x 2,0	21,11 ± 0,23 bc	11,19
3,5 x 2,5	20,43 ± 0,22 ab	10,61
3,5 x 2,8	21,74 ± 0,22 cd	7,49
3,5 x 3,5	22,62 ± 0,22 d	5,1
MP F	22,77	78,24
MP p	<0,0001*	<0,0001*
C F	3,83	1,59
C p	0,0513	0,2084
Interacción C x MP p	0,8935	0,0075*

776 Referencias: \*: diferencias significativas para  $\alpha = 0,01$ ; Valor medio  $\pm$  error estándar; letras diferentes indican  
 777 diferencias significativas según el test de Tukey; CV: coeficiente de variación; AM: Altura media; MP: marco de  
 778 plantación; C: cuadros; p: valor de la probabilidad; F: valor de la prueba de F.

779  
 780  
 781  
 782  
 783  
 784  
 785  
 786  
 787

788 **Tabla 5:** Valores y estadísticos de rectas ajustadas para la variable Diámetro a la Altura  
 789 del Pecho (1,3 m) de Marcos de Plantación de áreas de incidencia consecutivas.

Áreas de incidencia Real (m <sup>2</sup> /individuo)				
(Marcos de Plantación)		Pendiente	Valor-T	Valor-P
6,43 - 7,20 (2,5 m x 2,5m - 3,5 m x 2,0 m)		2,81	4,56	<0,0001*
7,20 - 8,75 (3,5 m x 2,0 m - 3,5 m x 2,5 m)		0,69	1,97	0,0497
8,75 - 9,98 (3,5 m x 2,5 m - 3,5 m x 2,8 m)		2,01	4,3	<0,0001*
9,98 - 12,25 (3,5 m x 2,8 m - 3,5 m x 3,5 m)		0,87	4,2	<0,0001*

790 Referencias: \*: diferencias significativas para  $\alpha = 0,01$ .

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807 **Tabla 6:** Valores y estadísticos de rectas ajustadas para la variable Altura Media de  
 808 Marcos de Plantación de Áreas de Incidencia Consecutivas.

Áreas de incidencia Real (m <sup>2</sup> /individuo)			
(Marcos de Plantación)	Pendiente	Valor-T	Valor-P
6,43 - 7,20 (2,5 m x 2,5m - 3,5 m x 2,0 m)	1,64	3,96	0,0001*
7,20 - 8,75 (3,5 m x 2,0 m - 3,5 m x 2,5 m)	-0,15	-0,73	0,4658
8,75 - 9,98 (3,5 m x 2,5 m - 3,5 m x 2,8 m)	0,91	3,91	0,0001*
9,98 - 12,25 (3,5 m x 2,8 m - 3,5 m x 3,5 m)	0,24	2,37	0,0187

809 Referencias: \*: diferencias significativas para  $\alpha = 0,01$ .

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826 **Tabla 7:** Valores y estadísticos de rectas ajustadas para la variable Altura Media del  
 827 Cuartil Superior de Marcos de Plantación de Áreas de Incidencia Consecutivas.

Áreas de incidencia Real (m <sup>2</sup> /individuo)			
(Marcos de Plantación)	Pendiente	Valor-T	Valor-P
6,43 - 7,20 (2,5 m x 2,5m - 3,5 m x 2,0 m)	2,05	8,57	<0,0001*
7,20 - 8,75 (3,5 m x 2,0 m - 3,5 m x 2,5 m)	-0,41	-4,06	0,0001*
8,75 - 9,98 (3,5 m x 2,5 m - 3,5 m x 2,8 m)	0,75	7,36	<0,0001*
9,98 - 12,25 (3,5 m x 2,8 m - 3,5 m x 3,5 m)	0,17	2,54	0,0126

828 Referencias: \*: diferencias significativas para  $\alpha = 0,01$ .

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

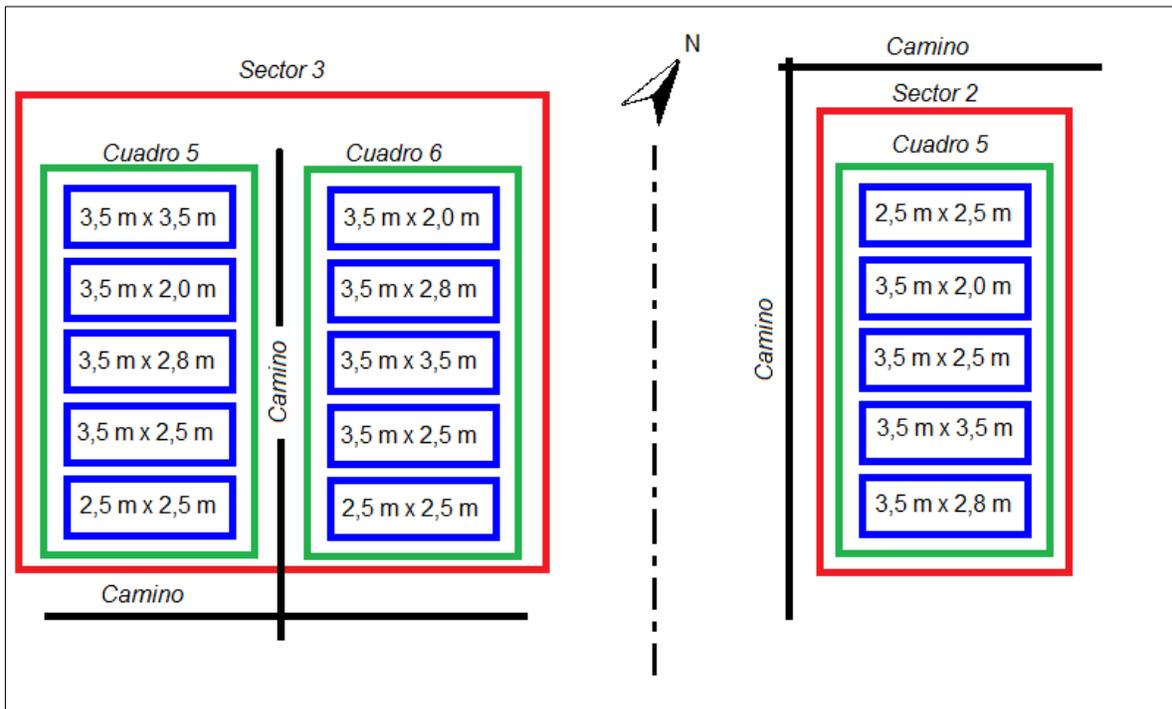
842

843

844

845

846 **Figura 1:** Croquis de la disposición del ensayo.



847

848 Referencias: Los recuadros de color rojo indican Sectores, y los de color verde Cuadros, según la  
849 identificación del Establecimiento. En recuadros azules se indican los marcos de plantación ensayados, con  
850 los valores correspondientes en su interior. Líneas negras continuas indican caminos, y líneas negras  
851 punteadas indican separación geográfica.

852

853

854

855

856

857

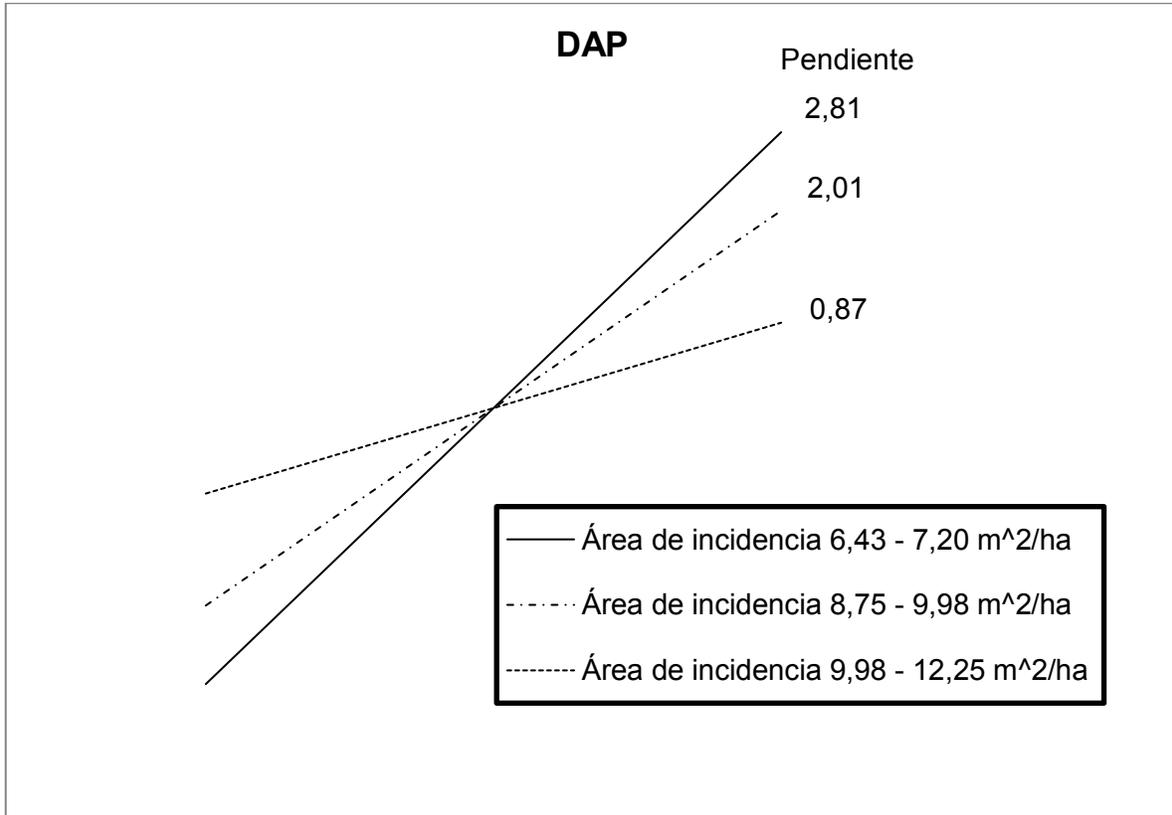
858

859

860

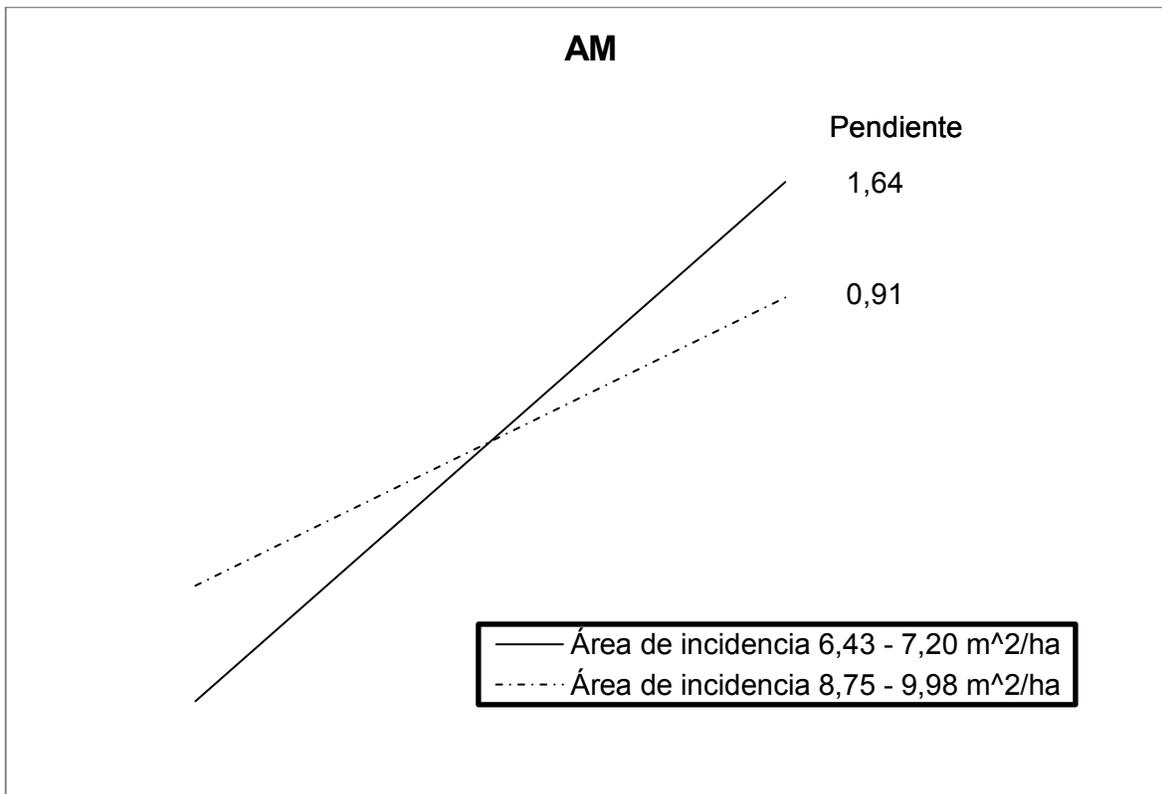
861

862 **Figura 2:** Pendientes estadísticamente significativas (probabilidad 99%) de rectas  
863 ajustadas para valores de Diámetro a la Altura del Pecho (1,3 m) en Marcos de Plantación  
864 de Áreas de Incidencia Consecutivas.



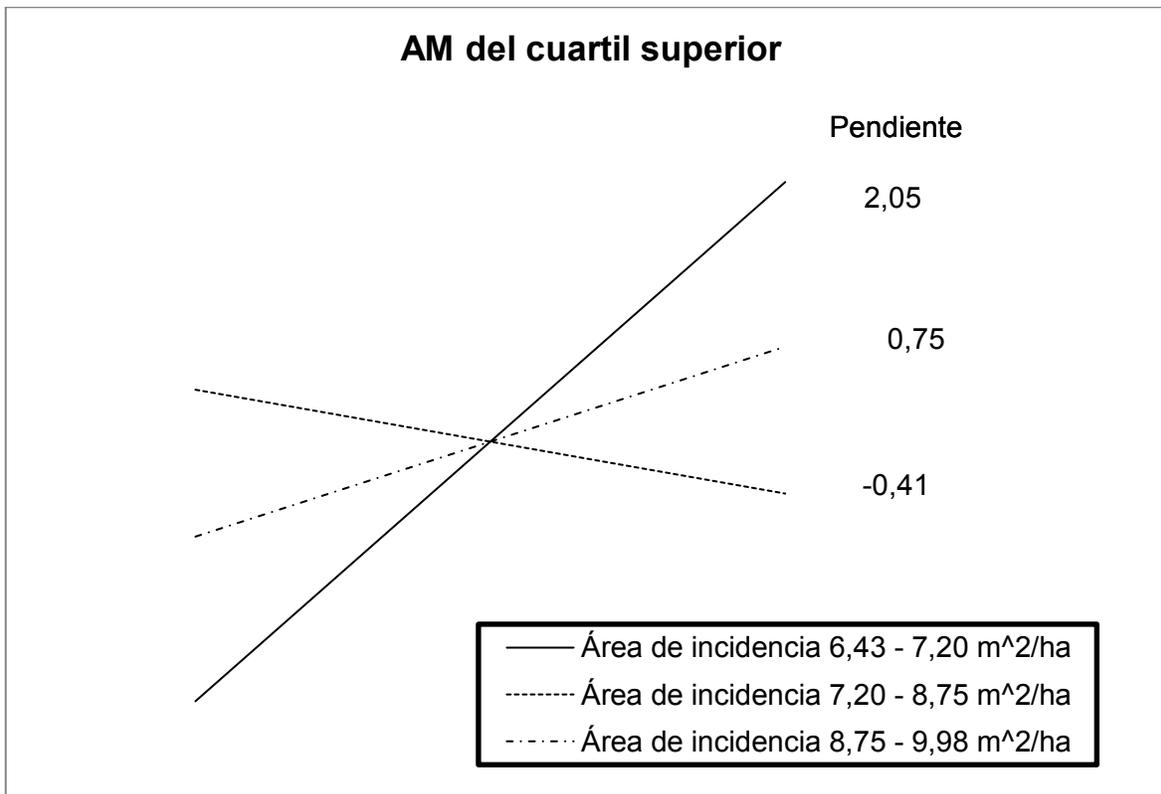
865  
866  
867  
868  
869  
870  
871  
872  
873  
874  
875

876 **Figura 3:** Pendientes estadísticamente significativas (probabilidad 99%) de rectas  
877 ajustadas para valores de Altura Media en Marcos de Plantación de Áreas de Incidencia  
878 Consecutivas.



879  
880  
881  
882  
883  
884  
885  
886  
887  
888  
889

890 **Figura 4:** Pendientes estadísticamente significativas (probabilidad 99%) de rectas  
891 ajustadas para valores de Altura Media del Cuartil Superior en Marcos de Plantación de  
892 Áreas de Incidencia Consecutivas.



893